



TUGAS AKHIR - TM 145502

**RANCANG BANGUN WOODWORKING CNC MACHINE
(WCM) 3 AXIS (X, Y, DAN Z) MENGGUNAKAN
MOTOR STEPPER MACH3 PC BASE**

WAHYU ABDI WIBOWO
NRP. 2114 030 068

Dosen Pembimbing
Hendro Nurhadi ,Dipl.-Ing, Ph.D
NIP. 19751120 200212 1 002

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT - TM 145502

**DESIGN WOODWORKING CNC MACHINE (WCM) 3
AXIS (X,Y, and Z) USING STEPPER MOTOR MACH3
PC BASE**

WAHYU ABDI WIBOWO
NRP. 2114 030 068

ADVISOR
Hendro Nurhadi ,Dipl.-Ing, Ph.D
NIP. 19751120 200212 1 002

Industrial Mechanical Engineering Departement
Faculty Of Vocation
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya 2017

LEMBAR PENGESAHAN

RANCANG BANGUN WOODWORKING CNC MACHINE (WCM) 3 AXIS (X, Y, DAN Z) MENGGUNAKAN MOTOR STEPPER MACH3 PC BASE

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
Pada Bidang Studi Manufaktur
Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Wahyu Abdi Wibowo
NRP. 2114 030 068

Menyetujui,
Dosen Pembimbing Tugas Akhir

Dosen Pembimbing 1



Hendro Nurhadi, Dipl.-Ing, Ph.D
NIP. 19751120 200212 1 002

SURABAYA, Agustus 2017

.....(*halaman ini sengaja dikosongkan*)....

RANCANG BANGUN WOODWORKING CNC MACHINE (WCM) 3 AXIS (X, Y, DAN Z) MENGGUNAKAN MOTOR STEPPER MACH3 PC BASE

Nama Mahasiswa : Wahyu Abdi Wibowo
(2114 030 068)

Jurusan : Departement Teknik Mesin Industri
Dosen Pembimbing : Hendro Nurhadi ,Dipl,-Ing,Phd

Abstrak

Computerized Numerical Control (CNC) merupakan salah satu perkembangan teknologi permesinan yang dioperasikan secara otomatis yang dapat menunjang kebutuhan akan permintaan suatu produk yang mempunyai bentuk yang kompleks, ketelitian yang tinggi dan dapat mengerjakan benda-benda yang tidak mampu dilakukan dengan permesinan konvensional. Perancangan mesin CNC kayu dilakukan dengan proses desain untuk menentukan dimensi mesin, menentukan perhitungan untuk menentukan spesifikasi kebutuhan motor. Dilanjutkan dengan perancangan *wiring* elektrik untuk memilih spesifikasi kontroler yang digunakan, dan dilanjutkan pengujian kepresisian alat pada saat pengukuran.

Hasil perancangan alat ini menggunakan *software* Mach3 sebagai kontroler mesin dan menggunakan motor stepper sebagai penggerak mesin. Hasil pengukuran *backlash* pada mesin rata-rata sebesar 0,2 mm. Rancang Bangun Mesin Woodworking CNC Machine (WCM) 3 Axis (X,Y dan Z) Menggunakan Motor Stepper Mach3 PC Base ini bahwa sistem kontroler menggunakan *software* Mach3 mempunyai konfigurasi mudah karena ada fitur auto tuning pada tiap axis untuk menentukan kepresisian jarak. Dengan menggunakan *software* Mach3 tidak memerlukan banyak biaya karena dapat didownload di internet

Kata Kunci: *CNC 3 axis, Mach3, Motor Stepper*

.....(*halaman ini sengaja dikosongkan*)....

DESIGN WOODWORKING CNC MACHINE (WCM) 3 AXIS (X,Y, and Z) USING STEPPER MOTOR MACH3 PC BASE

Student Name : Wahyu Abdi Wibowo
(2113 030 004)

Department : D3 Mechanical Engineering FTI-
ITS Advisor : Hendro Nurhadi ,Dipl,-Ing,Phd

Abstract

Computerized Numerical Control (CNC) is one of the development of automatic machining technology that can support the demand for a product that has a complex shape, high accuracy and can work on objects that can not be done with conventional machinery. The design of wooden CNC machines is done by the design process to determine the dimensions of the machine, determining the calculation to determine the motor needs specifications. Followed by designing electric wiring to select the controller specification used, and continued testing of the tool's precision at the time of engraving.

The design result of this tool using Mach3 as machine controller and using stepper motor as engine driver. The result of backlash measurement on the average machine is 0,2 mm. This Mach3 controller system using Mach3 software has an easy configuration because there is an auto tuning feature on each axis to determine the distance precision. Using Mach3 software does not cost much because it can be downloaded on the internet.

Keyword: CNC 3 axis, Mach3, Motor Stepper

.....(*halaman ini sengaja dikosongkan*)....

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan segala puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan karunia, rahmat dan hidayah- Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul :

RANCANG BANGUN MEJA MESIN PLASMA CUTTING DENGAN GERAK 3 AXIS X, Y, Z MENGGUNAKAN MOTOR STEPPER BERBASIS ARDUINO

Penyelesaian Tugas Akhir ini merupakan syarat kelulusan akademis dan memperoleh gelar Ahli Madya dalam menempuh pendidikan Bidang Studi Manufaktur di Program Studi D3 Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Terlaksananya dan tersusunnya tugas akhir ini tidak terlepas dari dukungan, bantuan dan kerjasama yang baik dari semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung terlibat di dalam Tugas Akhir ini. Oleh Karena itu pada kesempatan ini, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Hendro Nurhadi ,Dipl,-Ing,Phd selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan ilmu, bimbingan, dan bantuan sehingga penulis mampu mengerjakan dan menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT selaku Ketua Program Studi Departemen Teknik Mesin Industri.
3. Bapak Ir. Eddy Widiyono M. Sc. selaku dosen wali.
4. Tim dosen penguji yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam rangka perbaikan tugas akhir ini.
5. Semua dosen dan karyawan Progam Studi D3 Teknik Mesin FTI-ITS.
6. Ibu Darsini dan Bapak Damin tercinta yang telah memberikan dorongan moril, materil, serta spiritual kepada penulis.
7. Teman-teman seperjuangan angkatan 2014 yang selalu memberikan motivasi, serta doanya khususnya Hanif, Prasetyo Aji, Heru Fatkhurohmat dan Ismah Fawaiz.
8. Terimakasih kepada Ardi Dara Yudha, karena telah

membantu konsultasi pembuatan alat dan buku tugas akhir ini.

9. Seluruh pihak yang belum disebutkan di atas yang telah memberikan doa, bantuan, dan dukungannya bagi penulis hingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu.

Akhirnya semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat untuk sekarang dan masa depan yang akan datang. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan ini masih banyak terdapat kekurangan, sehingga saran dan kritik yang membangun mampu menyempurnakan penulisan laporan dimasa yang datang.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
<i>ABSTRACT</i>	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
1.6 Metodologi Penelitian	2
1.7 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 Mesin CNC.....	5
2.1.1 Sejarah Mesin CNC.....	5
2.1.2 Keuntungan dan Kerugian.....	6
2.2 Jenis – jenis mesin CNC.....	6
2.3 PC Based CNC	8
2.4 Artsoft Mach3.....	8
2.5 Program Kode G dan M Pada mesin CNC Milling	10
2.6 Power Supply	14
2.7 Motor Stepper.....	14
2.8 Driver TB6560	15
2.9 Breakout Board.....	16
2.10 Limit Switch.....	17
2.11 Relay.....	17
2.12 Parallel Port (LPT)	18
2.13 Material yang Digunakan	19
2.14 Perencanaan Elemen Mesin.....	20
2.14.1 Baut	20
2.14.2 Bantalan (Bearing).....	21

2.14.3	Perencanaan Bantalan.....	22
2.14.4	Beban Ekvivalen pada Bantalan.....	23
2.14.5	Ulir Penggerak (Power Screw).....	24
2.14.6	Macam-macam Jenis Ulir Menurut Bentuknya ...	24
2.14.7	Penggerak Poros Ulir.....	32
2.14.8	Perhitungan Daya Motor	34
BAB III METODOLOGI		35
3.1	Diagram Alir Penelitian.....	35
3.2	Material Penyusun.....	41
3.3	Diagram Alir Instrumentasi.....	42
3.4	Penjelasan Diagram Alir Instrumentasi.....	44
3.5	Perencanaan Desain.....	46
3.5.1	Komponen Mekanik	46
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		53
4.1	Pengujian Elektrik	53
4.2	Wiring Elektrik.....	55
4.3	Konfigurasi Breakoutboard (BOB) pada Software Mach3 61	
4.4	Perhitungan Sistem Mekanik.....	66
4.4.1	Perencanaan Ulir Penggerak Sumbu Z.....	66
4.4.2	Perencanaan Ulir Penggerak Sumbu X	72
4.4.3	Perencanaan Daya Motor	78
4.4.4	Perencanaan Daya Motor Pada Sumbu X	81
4.4.5	Perencanaan Daya Motor Pada Sumbu Y	82
4.4.6	Perencanaan Daya Motor Pada Sumbu Z	83
4.5	Realisasi Alat dan Hasil Mekanikal	84
4.6	Hasil Analisa	86
4.6.1	Pengujian alat	86
4.6.2	Sistem Gerak Sumbu X	86
4.6.3	Sistem Gerak sumbu Y.....	88
4.6.4	Sistem Gerak Sumbu Z.....	89
4.6.5	Sistem gerak melingkar	91
BAB V PENUTUP.....		93
5.1	Kesimpulan.....	93
5.2	Saran.....	93
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		
BIODATA PENULIS		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 CNC Milling.....	7
Gambar 2. 2 CNC Lathe.....	8
Gambar 2. 3 Skema motor stepper (a) Unipolar stepper motor (b) Bipolar stepper motor.....	15
Gambar 2. 4 IC TB6560AHQ	15
Gambar 2. 5 Breackoutboard.....	16
Gambar 2. 6 Limit Swieth	17
Gambar 2. 7 Relay.....	18
Gambar 2. 8 Skema LPT DB-25	18
Gambar 2. 9 Tipe – Tipe Bantalan	22
Gambar 2. 10 Bagian – bagian Bantalan	23
Gambar 2. 11 Ball Screw	24
Gambar 2. 12 Metrik Standart Thread.....	25
Gambar 2. 13 Whitworth Standard Thread	25
Gambar 2. 14 Square Threads	25
Gambar 2. 15 Acme Thread	26
Gambar 2. 16 Sket Momen Bending.....	26
Gambar 2. 17 Jenis-jenis Ulir Penggerak.....	28
Gambar 2. 18 Sket tegangan kompresi.....	30
Gambar 2. 19 Diagram gaya ulir penggerak	31
Gambar 2. 20 Mekanisme ulir penggerak	33
 Gambar 3. 1 Flow Chart Diagram	 37
Gambar 3. 2 Hasil Renderan Desain konsep alat	39
Gambar 3. 3 Pengujian sinyal pulsa	41
Gambar 3. 4 Diagram Alir Instrumentasi	44
Gambar 3. 5 Sumbu X dan Z.....	46
Gambar 3. 6 Desain CNC.....	46
Gambar 3. 7 Plat Base	47
Gambar 3. 8 Kerangka Mesin CNC	47
Gambar 3. 9 Allumunium Profile 2040.....	48
Gambar 3. 10 Lead Screw	48
Gambar 3. 11 Nut Lead Screw	48

Gambar 3. 12 Nut Block.....	49
Gambar 3. 13 V Whell Roller	49
Gambar 3. 14 Flexible Coupling	50
Gambar 3. 15 Bearing F608ZZ	50
Gambar 3. 16 Kaki Meja Adjustable.....	50
Gambar 3. 17 Bracket Motor Spindle.....	51
Gambar 3. 18 Baut dan Spacer.....	51
Gambar 3. 19 Papan Benda Kerja	51
Gambar 3. 20 Lock Nut.....	52
Gambar 3. 21 Baut dan Mur.....	52
Gambar 3. 22 Cable Carrier	52
Gambar 4. 1 Pengujian pin sinyal pulsa	55
Gambar 4. 18 Wiring Hardware	55
Gambar 4. 19 Breakoutboard MACH3	56
Gambar 4. 20 Susunan Driver Stepper TB65660	57
Gambar 4. 21 Power Suply.....	57
Gambar 4. 22 Motor Stepper.....	58
Gambar 4. 23 CPU unit	59
Gambar 4. 24 Motor Trimer.....	59
Gambar 4. 25 Dimmer 2000 watt.....	60
Gambar 4. 26 Dim Konektor	60
Gambar 4. 27 Rakitan Driver dan Kontroller.....	61
Gambar 4. 2 Keluaran pin breakoutboard	61
Gambar 4. 3 Port Setup & Axis Selection.....	62
Gambar 4. 4 Motor Output	62
Gambar 4. 5 Input Sigal 1	63
Gambar 4. 6 Input Signal 2	63
Gambar 4. 7 Output Signal.....	64
Gambar 4. 8 Spindle Setup.....	64
Gambar 4. 9 Tuning motor X dan Y axis	65
Gambar 4. 10 Tuning motor Z axis	66
Gambar 4. 11 Beban pada sumbu Z	66
Gambar 4. 12 Dimensi square leadsrew	68
Gambar 4. 13 Dimensi square leadsrew	73

Gambar 4. 14 Realisasi alat.....	84
Gambar 4. 15 Spindle dan Sumbu Z	85
Gambar 4. 16 Sumbu X.....	85
Gambar 4. 17 Sumbu Y	85
Gambar 4. 28 Pemakanan Lurus	88
Gambar 4. 29 Pengukuran mengguakan jangka sorong	91
Gambar 4. 30 Pemakanan dengan pola	92

.....(halaman ini sengaja dikosongkan)....

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Pemrograman Kode G	10
Tabel 2. 2 Pemrograman Kode M	12
Tabel 2. 3 Pemrograman Kode Lain.....	13
Tabel 2. 4 Sifat Fisik Aluminium.....	19
Tabel 2. 5 Sifat Mekanis Aluminium	20
Tabel 2. 6 Tekanan Permukaan yang Diizinkan pada Ulir.....	21
 Tabel 3. 1 Daftar material penyusun rangka meja cnc kayu	42
 Tabel 4. 1 Konfigurasi pin Parallel Port yang digunakan	53
Tabel 4. 2 Hasil pengujian tegangan	54
Tabel 4. 3 Tabel Spesifikasi Motor Stepper	57
Tabel 4. 4 Massa Komponen Spindle.....	67
Tabel 4. 5 Massa Sumbu Z.....	72
Tabel 4. 6 Massa Sumbu X dan Y	77
Tabel 4. 7 Massa Table.....	78
Tabel 4. 8 Massa Total	78
Tabel 4. 9 Pengujian.....	86
Tabel 4. 10 Pengujian sistem gerak sumbu X	87
Tabel 4. 11 Pengujian sistem gerak sumbu Y	89
Tabel 4. 12 Pengujian sistem gerak sumbu Z.....	90

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Computerized Numerical Control (CNC) merupakan salah satu perkembangan teknologi permesinan yang dioperasikan secara otomatis yang dapat menunjang kebutuhan akan permintaan suatu produk yang mempunyai bentuk yang kompleks, ketelitian yang tinggi dan dapat mengerjakan benda-benda yang tidak mampu dilakukan dengan permesinan konvensional. Cara pengoperasiannya dikontrol dengan memasukan data berupa perintah dengan kode angka, huruf dan simbol menjadi bentuk gerakan mesin.

Jenis mesin CNC pada umumnya adalah mesin CNC milling yang banyak digunakan untuk melakukan pembentukan benda kerja dengan mengukir biasanya terdapat 3 axis gerakan dan CNC *lathe* yang digunakan untuk mendapatkan benda berbentuk silindris biasanya terdapat 2 axis sumbu gerakan. Berdasarkan benda kerjayang dapat dimachining dengan CNC adalah baja, alumunium, akrilik, kayu dan lain-lain. Salah satu penerapan teknologi CNC di industri yaitu untuk permesinan pada kayu mesin ini disebut CNC *router*.

Bagian mesin CNC pada umumnya terdapat sistem mekanik dan sistem elektrik yang bisa disebut juga kontroller mesin yang menggunakan *Human Machine Interface (HMI)* dengan harga yang mahal. Salah satu *software* yang digunakan untuk mengotrol mesin CNC tersebut adalah *Mach3* berbasis PC dengan harga yang murah dan fungsi yang sama *software* ini tidak jauh dengan keunggulan panel HMI tersebut. Untuk mengoprasikan mesin dengan *software* ini juga tidak begitu sulit.

Dalam tugas akhir ini bermaksud untuk membuat mesin CNC menggunakan sistem kontrol dan *software Mach3* berbasis PC yang memudahkan operator untuk mengoprasikanya, menggunakan motor stepper dan pengerjaan dikhususkan untuk kayu dan membahas sistem instrumen mesin yang digunakan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka Tugas Akhir ini mempunyai rumusan masalah yang harus di selesaikan yaitu :

1. Bagaimana sistem kontrol woodworking CNC machine menggunakan *software Mach3* berbasis PC
2. Bagaimana hasil permesinan kayu dengan *woodworking CNC Machine* yang telah dibuat

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu :

1. Mendapatkan rangkaian sistem kontroller woodworking CNC machine menggunakan *software Mach3* berbasis PC.
2. Mendapatkan hasil permesinan kayu dengan *woodworking CNC Machine* yang telah dibuat

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan permasalahan dalam penelitian yang akan dilakukan antara lain:

1. Analisis menggunakan ANSIS tidak di lakukan
2. Sistem *motion* menggunakan roda dan rel alumunium profile
3. Masing-masing sumbu axis menggunakan satu motor
4. Mesin yang digunakan untuk mengerjakan kayu
5. Kapasitas benda kerja yang direncanakan berukuran 500mm x 400mm x 100mm
6. Tidak menghitung struktur mekanik
7. Material yang digunakan berbahan alumunium yang diperkuat dengan plat besi dengan tebal 5 mm

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari pemelitian ini adalah :

1. Memberikan kemudahan pada proses permesinan karena pengoprasian sistem kontroller yang tidak sulit
2. Setelah mampu membuat mesin dengan sistem kontrol tersebut, maka dapat diaplikasikan dengan mesin yang besar

1.6 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan penulis untuk mencapai tujuan penelitian Tugas Akhir ini adalah :

1. Studi Literatur
Untuk menambah wawasan perlu studi literatur dengan mempelajari buku-buku tentang dasar-dasar mengenai CNC, mencari literatur dari internet untuk mencari referensi instrumentasi yang digunakan pada CNC.
2. Konsultasi dengan Dosen Pembimbing
Dalam penulisan tugas akhir ini perlu mengadakan konsultasi atau respon dengan dosen pembimbing.
3. Observasi Data
Melakukan observasi data-data terkait perautan pembentukan dan benda kerja melalui internet dan dari hasil pengamatan langsung dengan masalah yang dihadapi di lapangan.
4. Analisa Data
Menganalisa hasil desain mesin, instrumen yang digunakan dan analisa wiring *electricel* agar efisien terhadap proses pembuatannya.
5. Membuat Kesimpulan
Setelah menyelesaikan laporan tugas akhir dapat diambil kesimpulan tentang hasil dari proses dan analisa tersebut.

1.7 Sistematika Penulisan

Agar hasil pemikiran penulis dapat dimengerti dan dipahami secara keseluruhan, maka penulisan tugas akhir ini akan ditulis menurut sistematika penulisan secara umum yaitu :

- BAB I PENDAHULUAN
Pada Bab I menjelaskan tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, Metodologi Penelitian dan sistematika penulisan.
- BAB II DASAR TOERI
Pada Bab II ini menjelaskan tentang teori-teori yang menunjang pelaksanaan penelitian.
- BAB III METODOLOGI
Pada Bab III menjelaskan metodologi penelitian, diagram langkah penelitian, spesifikasi, dan langkah proses pengujian-pengujian yang dilakukan.
- BAB IV HASIL dan PEMBAHASAN

Dalam bab ini dibahas tentang sistem wiring dan hasil pengujian pada mesin CNC.

- **BAB V PENUTUP**

Pada Bab V berisi kesimpulan hasil penelitian dan saran-saran konstruktif untuk penelitian selanjutnya.

- **DAFTAR PUSTAKA**

- **LAMPIRAN**

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Mesin CNC

Mesin Computer Numerical Control (CNC) adalah mesin perkakas otomatis yang dapat diprogram secara numerik melalui komputer yang kemudian disimpan pada media penyimpanan. Mesin CNC terdiri dari beberapa sumbu gerak dimana setiap sumbu tersebut digerakkan oleh motor. Alat kerja dari mesin CNC dapat berupa bor, pemotong, atau pemahat. Mesin CNC biasanya digunakan di industri manufaktur yang menghasilkan produk dengan tingkat ketelitian yang tinggi. Oleh karena itu, dibutuhkan keakuratan dan kestabilan posisi alat kerja mesin CNC saat pembentukan kontur.

2.1.1 Sejarah Mesin CNC

Awal lahirnya mesin CNC (Computer Numerically Controlled) bermula dari 1952 yang dikembangkan oleh John Pearseon dari Institut Teknologi Massachusetts, atas nama Angkatan Udara Amerika Serikat. Semula proyek tersebut diperuntukan untuk membuat benda kerja khusus yang rumit. Semula perangkat mesin CNC memerlukan biaya yang tinggi dan volume unit pengendali yang besar.

Pada tahun 1973, mesin CNC masih sangat mahal sehingga masih sedikit perusahaan yang mempunyai keberanian dalam memelopori investasi dalam teknologi ini. Dari tahun 1975 produksi mesin CNC mulai berkembang pesat. Perkembangan ini dipacu oleh perkembangan mikroprosesor sehingga volume unit pengendali dapat lebih ringkas.

Dewasa ini penggunaan mesin CNC ini hampir terdapat di segala bidang. Dari bidang pendidikan dan riset yang menggunakan alat-alat demikian dihasilkan berbagai hasil tugas akhir yang bermanfaat yang tidak terasa sudah banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari masyarakat banyak. Oleh sebab itu saya akan menjelaskan kembali tentang pengertian macam-macam,

keuntungan dan kerugian dari mesin CNC (*Kuspriyanto dan Hari Saputro, Fakultas Teknologi Industri Bandung*).

2.1.2 Keuntungan dan Kerugian

1. Kelebihan
 - a. Laju produksi cepat
 - b. Keakuratan lebih besar dan repeatabilitas
 - c. Menurunkan tingkat tarip sisa (Pemborosan komponen)
 - d. Mengurangi kebutuhan pemeriksaan.
 - e. Peralatan sederhana tetap diperlukan waktu laju awal pabrikan lebih pendek
 - f. Mengurangi kebutuhan pemeriksaan
 - g. Tidak banyak memakan tempat / ruangan
 - h. Level keterampilan yang dibutuhkan operator dikurangi
2. Kekurangan
 - a. Pengerjaan komponen dengan mesin yang mudah menjadi sulit karena menggunakan format yang rumit
 - b. Modal yang ditanamkan mengalami peningkatan
 - c. Usaha pemeliharaan lebih tinggi, investasi lebih tinggi berharga
 - d. Pemanfaatan NC peralatan yang lebih tinggi
 - e. Dibutuhkan tenaga ahli yang berfungsi untuk memprogram peralatan NC

2.2 Jenis – jenis mesin CNC

A. Mesin CNC Milling

Mesin CNC Milling adalah mesin perkakas yang banyak digunakan untuk melakukan pembentukan benda kerja, contohnya seperti mengukir benda kerja. Hasil benda kerja mesin ini memiliki permukaan yang rata atau bentuk – bentuk lain yang spesifik (profil, radius, silindris, dan lain-lain) dengan ukuran dan kualitas tertentu. Mesin ini beroperasi dengan cara, meja mesin bergerak menuju mata paham yang

berputar. Terdapat 3 gerakan pada proses kerja mesin ini, yaitu yang pertama merupakan gerakan berputarnya alat potong pada spindle utama. Gerakan kedua yaitu, pemakanan (feeding) pada saat proses pemotongan benda kerja, dan yang terakhir adalah gerakan pengaturan (depth of cut). Metode pemotongan pada mesin ini ditentukan berdasarkan arah relatif gerak meja mesin terhadap putaran pisau.

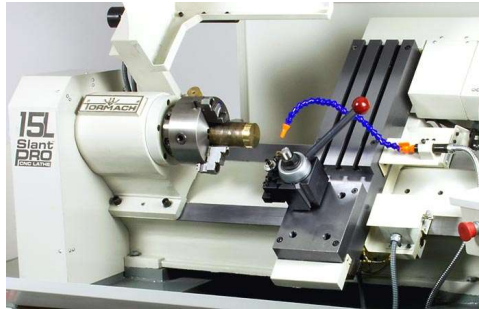


Gambar 2. 1 CNC Milling

B. Mesin CNC Lathe

Mesin CNC Lathe digunakan saat operator ingin mendapatkan benda kerja dengan bentuk silindris. Pada mesin ini, mata pahat mesin menempel pada perangkat mesin yang disebut turret. Pada dasarnya mesin CNC lathe mempunyai 2 sumbu yaitu sumbu Z yang sejajar dengan spindle dan sumbu X yang tegak lurus dengan spindle. Bagian turret pada mesin CNC Lathe ini tidak jauh berbeda dengan Automatic Tools Changer (ATC) atau magazine pada mesin CNC Milling. Fungsi dari bagian ini adalah untuk melakukan pergantian mata pahat secara otomatis. Selain itu, kecepatan ganti turret juga lebih cepat jika dibanding dengan magazine. Mesin CNC Lathe di

era modern dilengkapi dengan fitur yang canggih. Jumlah turret pada sebuah mesin Lathe dapat berjumlah lebih dari 1, sehingga mampu melakukan dua operasi program secara bersamaan.



Gambar 2. 2 CNC Lathe

2.3 PC Based CNC

PC Based CNC adalah mesin perkakas dengan sistem pemrograman CNC (Computer Numerical Control), yang menggunakan software yang terinstall pada PC (Personal Computer) sebagai kontrolernya.

2.4 Artsoft Mach3

MACH3 merupakan sebuah software yang berfungsi sebagai kontroler untuk mesin CNC. Software ini bekerja dengan cara menerjemahkan program yang diberikan pada mesin. Melalui program tersebut, tool mesin dikendalikan agar dapat bergerak dan memotong benda kerja. Software ini bekerja pada sebuah PC dengan operating system Windows 2000, Windows XP atau Windows 32-bit Vista. PC yang terinstal software ini berperan sebagai kontroler mesin, lalu mengirimkan sinyal perintah ke driver.

Software ini dapat dikatakan cukup fleksibel, karena dapat menjadi kontroler untuk berbagai macam mesin CNC, seperti Milling, Lathe, Plasma Cutter, serta Router. Cara kerja dari software ini merupakan penerapan dari fitur-fitur istimewa yang

teradapat pada mesin–mesin CNC tersebut. Penerapan fitur tersebut bertujuan agar software ini mampu bekerja sesuai dengan kondisi nyata mesin, fitur –fitur tersebut, yaitu:

- a. Tombol untuk Emergency Stop yang berfungsi untuk menghentikan seluruh proses yang terjadi pada mesin saat itu juga. Tombol ini selalu ada pada semua mesin, karena merupakan protektor saat terjadi kesalahan operasi pada mesin.
- b. Pergerakan yang dapat mengatur 2 atau 3 aksis (X, Y, Z) secara bersamaan.
- c. Sebuah tool yang bergerak relatif terhadap benda kerja.
- d. Pergerakan relatifnya dapat berupa, (1) tool atau mata pahat yang bergerak terhadap benda kerja, (2) meja dan benda kerja yang bergerak terhadap mata pahat atau spindle.
- e. Mengembalikan posisi aksis atau tool mesin pada posisi HOME atau koordinat awal mesin yang telah ditentukan.
- f. Pengaturan limit untuk over travel pada pergerakan mesin.
- g. Fungsi enkoder, seperti linear glass scales yang mampu menampilkan letak koordinat dari aksis suatu mesin.
- h. Pengaturan untuk menyemprotkan coolant untuk mata pahat mesin agar tidak mudah panas dan terjadi kerusakan.
- i. Menyalakan serta mematikan spindle.
- j. Pergantian tool atau mata pahat pada magazine mesin dengan kapasitas penyimpanan hingga 256 jenis mata pahat yang berbeda. Akan tetapi, untuk melakukan pergantian mata pahat harus dilakukan dengan pemrograman makro.

Komunikasi yang digunakan antara MACH3 dengan mesin yaitu melalui port paralel dari PC. Akan tetapi, apabila pada PC tidak terdapat port paralel maka diperlukan adanya sebuah motion controller menggunakan USB atau ethernet sebagai media komunikasinya.

MACH3 mampu membangkitkan pulsa step dan direction yang didefinisikan melalui program G-code. Setelah itu, sinyal tersebut dikirim melalui port paralel atau motion controller ke driver untuk dapat menggerakkan tool mesin. Salah satu kehandalan dari software ini yaitu, mampu digunakan untuk mengatur hingga 6 aksis secara bersamaan, melakukan pergerakan interpolasi melingkar pada 2 aksis (X, Y) dengan gerak interpolasi linier secara bersamaan.

2.5 Program Kode G dan M Pada mesin CNC Milling

Mesin CNC hanya dapat membaca kode standart yang telah disepakati oleh industri yang membuat mesin CNC. Dengan kode standart tersebut, *software* dapat mengontrol mesin sesuai dengan kode tersebut.

Tabel 2. 1 Pemrograman Kode G

NO	Kode	Penjelasan
1	G00	Pengeposisian bebas
2	G01	Interpolasi Lurus (gerak pemakanan)
3	G02	Interpolasi melingkar searah jarum jam (CW)
4	G03	Interpolasi melingkar berlawanan arah jarum jam (CCW)
5	G04	Program berhenti pada waktu tertentu
6	G10	Data program dapat di-input
7	G15	Pembatalan perintah koordinat polar
8	G16	Perintah koordinat polar
9	G17	Interpolasi helical
10	G20	Konversi satuan inchi (british)

11	G21	Konversi satuan mm (metric)
12	G28	Pengembalian posisi referensi
13	G31	perintah skip (melangkahi)
14	G33	Pembuatan ulir (Threading cutting)
15	G40	Cancel kompensasi cutter
16	G43, G44	Kompensasi panjang tool positif(G43), Negatif (G44)
17	G45	Menaikkan offset tool
18	G46	Menurunkan offset tool
19	G47	Menaikkan ganda offset tool
20	G48	Menurunkan ganda offset tool
21	G49	Pembatalan kompensasi panjang tool
22	G52	Penyatuan system koordinat local
23	G54 - G57	Sistem koordinat workpiece
24	G60	Pengeposisian arah tunggal
25	G63	Pengerjaan Tapping (ulir dalam)
26	G64	Pengerjaan pemotongan
27	G74	Menghitung putaran Tapping
28	G76	Pengerjaan proses canned cycle
29	G80	Pembatalan pengerjaan siklus
30	G81	Pengoperasian eksternal atau putaran drilling
31	G82	Keliling counter boring
32	G83	Peck drilling cycle
33	G84	Pengerjaan keliling Tapping
34	G85	Pengerjaan keliling boring
35	G90	Perintah system koordinat absolute
36	G91	Perintah system koordinat incremental
37	G94	Penentuan asutan pemakanan dalam (inchi/menit)
38	G95	Penentuan asutan pemakanan dalam (inchi/putaran)

39	G96	Kecepatan potong permukaan konstan
40	G98	Kembali ke titik initial di sebuah siklus
41	G99	Kembali ke titik R di sebuah siklus

Tabel 2. 2 Pemrograman Kode M

NO	Kode	Penjelasan
1	M00	Berhenti antar program, spindle berhenti : 3 sumbu x,y,z berhenti, distart kembali setelah kembali setelah menekan “cycle start”
2	M01	Usulan program stop
3	M02	Akhir program, program berhenti, lampu alarm hidup
4	M03	Putaran spindle searah jarum jam
5	M04	Putaran spindle berlawanan arah jarum jam
6	M05	Spindle berhenti berputar tetapi kode lainnya masih jalan
7	M06	Pergantian tool otomatis dari spindle dengan tool di magazine
8	M07	Coolant (pendingin) mengeluarkan angin otomatis untuk membersihkan bram
9	M08	Coolant ON
10	M09	Coolant OFF
11	M10	Rem ke-4 sumbu ON untuk menghentikan jalan
12	M11	Rem ke-4 sumbu OFF untuk menjalankan
13	M19	Spindle berhenti pada yang diorientasikan secara tepat
14	M23	Koveyor bram diperintahkan bergerak berlawanan jarum jam
15	M24	Konveyor bram diperintahkan bergerak searah jarum jam

16	M29	Khusus system fanuc, spindle yg sedang menjepit tool tidak bisa diganti langsung tetapi harus gunakan perintah S
17	M30	Akhir program, program berhenti
18	M48	Pembatalan (cancel) hidupnya OVERRIDE
19	M50	Coolant untuk pengeboran dalam perintah
20	M52	Kode bayangan sumbu X keluar
21	M53	Kode bayangan sumbu Y keluar
22	M54	Kode bayangan sumbu X,Y dan keempat arah gerakan ditutup
23	M80	Diperintahkan tool buka klem
24	M81	Diperintahkan tool menjepit klem
25	M90	Memerintahkan posisi ATC kedepan untuk menjepit tool
26	M91	Memerintahkan posisi ATC kebelakang (kembali) untuk menjepit tool
27	M98	Untuk memanggil program pembantu (sub-program)
28	M99	Untuk keluar dari program pembantu dan kembali ke program utama

Tabel 2. 3 Pemrograman Kode Lain

NO	Kode	Penjelasan
1	O	Nomor program
2	N	Nomor urut blok program
3	G	Khusus untuk kode perpindahan (lurus,(busur/melengkung dll)
4	X,Y,Z,	(kata ukuran) perintah perpindahan sumbu koordinat.Nilai ini berkaitan dengan system inkremental
	U,V,W	
	,A,B,C	
5	I,J,K	(kata ukuran) koordinat titik lengkung

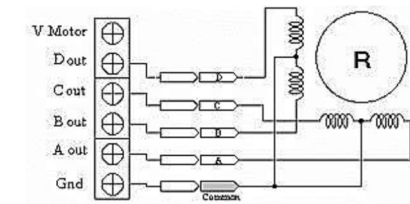
6	R	(kata ukuran) jari-jari lengkungan
7	F	Kode pemakanan / rate of feed (per menit atau per putaran)
8	S	Kecepatan spindle (rpm)
9	T	Nomor tool
10	M	(kode tambahan) kontrol ON/OFF akan tool mesin
11	B	Table indexing, dll
12	D,H	Nomor offset
13	P,X	Lama waktu jeda (detik)
14	P	Nomor program pembantu (subprogram)
15	P,Q	Parameter keliling pengkalengan (canned cycle)

2.6 Power Supply

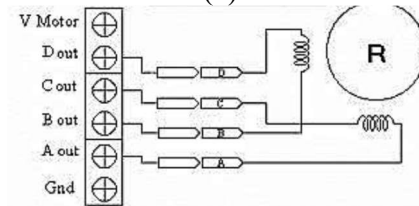
Pengertian Power Supply adalah sebagai alat atau perangkat keras yang mampu menyuplai tenaga atau tegangan listrik secara langsung dari sumber tegangan listrik ke tegangan listrik yang lainnya. Range tegangan yang dimilikinya bisa berupa tegangan AC (misal : 120/240 Vac) maupun tegangan DC (misal : 24 V DC). Disini Power Supply digunakan sebagai penyedia daya untuk driver motor stepper, cooling fan, dan tower lamp.

2.7 Motor Stepper

Motor *stepper* (motor *stepper bipolar* dan motor *stepper unipolar*) merupakan motor DC yang dapat diatur posisinya dengan akurat pada posisi tertentu dan dapat berputar ke arah yang diinginkan dengan memberi pulsa-pulsa listrik dengan pola tertentu. Wirdarto juga menyebutkan motor *stepper* adalah motor DC yang gerakannya bertahap (*stepper step*) dan memiliki akurasi yang tinggi tergantung pada spesifikasinya. Setiap motor *stepper* mampu berputar untuk setiap *step*-nya dalam satuan sudut (0.75° , 0.9° , 1.8°), makin kecil sudut per *step*-nya maka gerakan per *step*-nya motor *stepper* tersebut makin presisi.



(a)



(b)

Gambar 2. 3 Skema motor stepper (a) Unipolar stepper motor (b) Bipolar stepper motor

Sumber: <http://didisetiawan04.blogspot.com/2012/07/motor-stepper.html>

2.8 Driver TB6560

TB6560AHQ adalah sebuah IC mikrokontroler buatan Toshiba yang penggunaannya dikhususkan untuk mengontrol gerakan motor *stepper*.

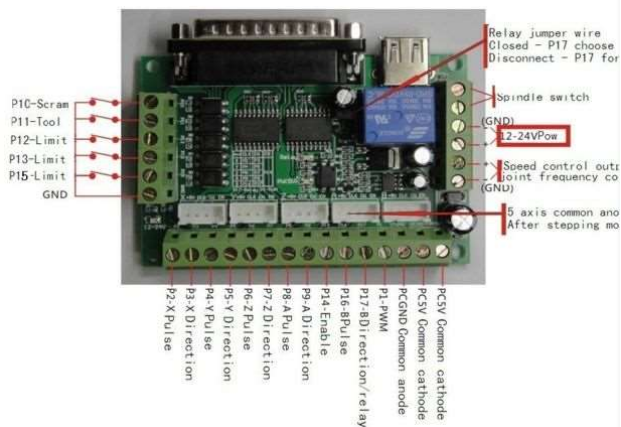


Gambar 2. 4 IC TB6560AHQ

IC mikrokontroler ini kemudian dirangkai dengan beberapa komponen lain sehingga menjadi sebuah *driver control* untuk beberapa *motor stepper* untuk satu buah *motor stepper* menggunakan satu buah IC, yang komplit dengan DIP *setting* dan fitur-fitur lainnya, dan juga dapat dikendalikan menggunakan komputer melalui kabel *parallel port* (BD25).

2.9 Breackout Board

Breakoutboard (BOB) atau card elektronik yang berfungsi untuk menghubungkan sinyal dari komputer dengan peripheral input maupun output. BOB merupakan komponen utama yang digunakan untuk merakit mesin cnc, menghubungkan sinyal data dari komputer menuju driver atau relay, serta menghubungkan sinyal input dari luar untuk bisa dibaca dari komputer. BOB menggunakan parallel PORT komputer DB25, bisa berkerja menggunakan *software* MACH3 maupun *software* jenis lain yang berkerja dengan parallel port DB25.



Gambar 2. 5 Breackoutboard

2.10 Limit Switch

Limit switch adalah salah satu sensor yang akan bekerja jika pada bagian actuator nya tertekan suatu benda, baik dari samping kiri ataupun kanan, mempunyai micro switch dibagian dalamnya yang berfungsi untuk mengontakkan atau sebagai pengontak. Ketika actuator dari Limit switch tertekan suatu benda baik dari samping kiri ataupun kanan sebanyak 45 derajat atau 90 derajat (tergantung dari jenis dan type limit switch) maka, actuator akan bergerak dan diteruskan ke bagian dalam dari limit switch, sehingga mengenai micro switch dan menghubungkan kontak-kontaknya, pada micro switch terdapat kontak jenis NO dan NC seperti juga sensor lainnya, kemudian kontaknya mempunyai beban kerja sekitar 5 A, untuk dihubungkan ke perangkat listrik lainnya, dan begitulah seterusnya.



Gambar 2. 6 Limit Swieth

2.11 Relay

Relay adalah suatu piranti yang bekerja berdasarkan elektromagnetik untuk menggerakkan sejumlah kontaktor (saklar) yang tersusun. Kontaktor akan tertutup (On) atau terbuka (Off) karena efek induksi magnet yang dihasilkan kumparan (induktor) ketika dialiri arus listrik. Berbeda dengan saklar dimana pergerakan kontaktor (On/Off) dilakukan manual tanpa perlu arus listrik. Berdasarkan cara kerjanya relay dibagi menjadi 3 :

1. Normaly On : Kondisi awal kontaktor tertutup (On) dan akan terbuka (Off) jika relay diaktifkan dengan cara memberi arus yang sesuai pada kumparan (coil) relay. Istilah lain kondisi ini adalah Normaly Close (NC).
2. Normaly Off : Kondisi awal kontaktor terbuka (Off) dan akan tertutup jika relay diaktifkan dengan cara memberi

arus yang sesuai pada kumparan (coil) relay. Istilah lain kondisi ini adalah Normaly Open(NO).

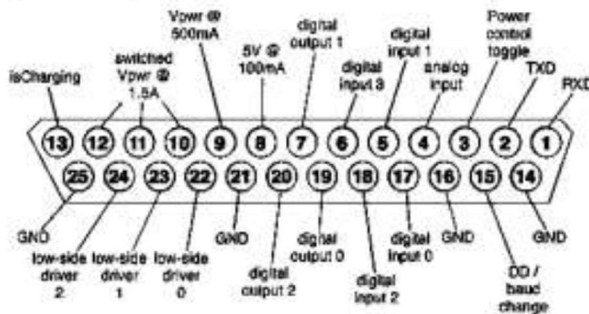
3. Change-Over (CO) atau Double-Throw (DT) : Relay jenis ini memiliki dua pasang terminal dengan dua kondisi yaitu Normaly Open (NO) dan Normaly Close (NC).



Gambar 2. 7 Relay

2.12 Parallel Port (LPT)

Parallel port adalah salah satu jenis soket pada PC untuk berkomunikasi dengan peralatan luar. *Parallelport* biasanya terletak pada salah satu *port* panel bagian belakang komputer. Arti istilah *parallel* yakni sistem pengiriman data digital, dimana beberapa *bit* data dikirim sekaligus pada satu saat dengan menggunakan jalur terpisah. Pada komputer umumnya digunakan konektor DB-25 yang mempunyai jumlah pin sebanyak 25 buah.



Gambar 2. 8 Skema LPT DB-25

Sumber: <http://www.computerports.net/parallel-port/>

2.13 Material yang Digunakan

Dalam pengerjaan tugas akhir ini menggunakan material aluminium sebagai struktur mekanik. Aluminium merupakan unsur melimpah ketiga terbanyak dalam kerak bumi setelah oksigen dan silikon. Dalam produksi aluminium, yang sangat penting adalah bauksit, yaitu aluminium oksida terhidrasi yang mengandung 50% sampai 60% Al_2O_3 , sampai 20% Fe_2O_3 , sampai 10% *silica* sedikit sekali *titanium*, *zirconium*, *vanadium*, dan oksida logam transisi yang lain dan sisanya (20% sampai 30%) adalah air.

Aluminium adalah logam yang ringan dan cukup penting dalam kehidupan manusia. Aluminium merupakan unsur kimia golongan IIIA dalam sistem periodik unsur, dengan nomor atom 13 dan berat atom 26,98 gram per mol (sma). Struktur kristal aluminium adalah struktur kristal FCC, sehingga aluminium tetap ulet meskipun pada temperatur yang sangat rendah. Keuletannya yang tinggi dari aluminium menyebabkan logam tersebut mudah dibentuk atau mempunyai sifat mampu bentuk yang baik.

Sifat tahan korosi pada aluminium diperoleh karena terbentuknya lapisan oksida aluminium pada permukaan aluminium. Lapisan oksida ini melekat pada permukaan dengan kuat dan rapat serta sangat stabil (tidak bereaksi dengan lingkungannya) sehingga melindungi bagian yang lebih dalam. Adanya lapisan oksida ini di satu pihak menyebabkan tahan korosi tetapi di lain pihak menyebabkan aluminium menjadi sukar di las dan di solder (titik leburnya lebih dari 2000° C).

Tabel 2. 4 Sifat Fisik Aluminium

Sifat sifat	Kemurnian Aluminium	
	99,996	>99,0
Massa Jenis (20 C)	2,6968	2,71
Titik Cair	660,2	653-657
Panas Jenis (cal/g. C) (100 C)	0,2226	0,229
Tahanan Listrik (%)	64,94	59
Hantaran Listrik Koefisien (/ C)	0,00429	0,0115

Koefisien Pemuaian (20-100 C)	23,86x10-6	23x10-6
Jenis Kristal, konstanta kisi	Fcc, a=4,013 KX	Fcc, a=4,04 Kx

Tabel 2. 5 Sifat Mekanis Alumunium

Sifat sifat	Kemurnian Aluminium			
	99,996		>99,0	
	Dianill	75% diroll dingin	Dianil	H18
Kekuatan Tarik (kg/mm ²)	4,9	11,6	9,3	16,9
Kekuatan Mulur (0,2%) (kg/mm ²)	1,3	11,0	3,5	14,8
Perpanjangan (%)	48,8	5,5	35	5
Kekerasan Brinell	17	27	23	44

2.14 Perencanaan Elemen Mesin

2.14.1 Baut

Baut merupakan alat sambung dengan dimensi batang bulat dan berulir, salah satu ujungnya berbentuk kepala baut dan ujung lainnya dipasang mur / pengunci. Jika momen rencana dari poros adalah T (kg.mm) dan diameter poros ds (mm), maka gaya tangensial F (kg) pada permukaan poros adalah :

$$F = \frac{T}{(\frac{d}{2})} \quad (2.1)$$

Dengan tegangan geser :

$$T_k = \frac{F}{\left(\frac{\pi}{4} x d^2\right)} \quad (2.2)$$

Memperoleh tegangan izin :

$$T_{ka} = \frac{a_t}{S_{fk1} \times S_{fk2}} \quad (2.3)$$

Tabel 2. 6 Tekanan Permukaan yang Diizinkan pada Ulir

Bahan		Tekanan permukaan yang diizinkan Pa (Kg/mm ²)	
Ulir Luar	Ulir Dalam	Untuk Pengikat	Untuk Penggerak
Baja Liat	Baja liat atau perunggu	3	1
Baja Keras	Baja liat atau perunggu	4	1.3
Baja Keras	Besi cor	1.5	0.5

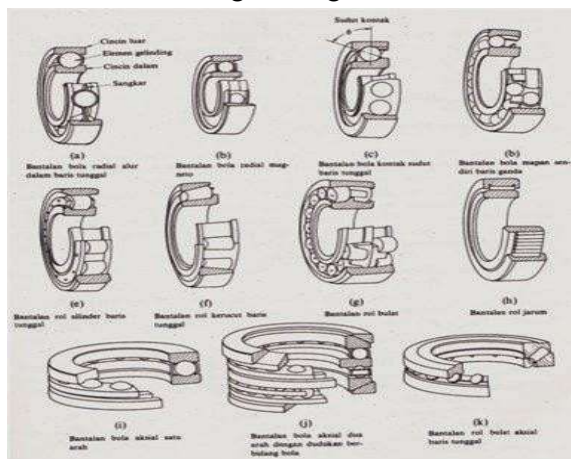
2.14.2 Bantalan (*Bearing*)

Bantalan (*Bearing*) diperlukan untuk menumpu ulir penggerak berbeban, agar dapat berputar atau bergerak bolak-balik secara kontinyu serta tidak berisik akibat adanya gesekan. Posisi bantalan harus kuat, hal ini agar elemen-mesin dan ulir penggerak dapat bekerja dengan baik. Gesekan antara komponen mesin dapat diminimalkan dengan menggunakan bantalan atau *bearing*. Peran pelumas lebih kecil, bentuk pelumas dapat berupa gas, cair maupun padat.

Secara umum bantalan dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Mekanisme gerakan bantalan terhadap *screw* :

- a) Bantalan luncur : Pada bearing ini terjadi gesekan luncur antara ulir penggerak dan bearing, karena permukaan ulir penggerak yang berputar bersentuhan langsung dengan bearing yang diam.
 - b) Bantalan gelinding : bearing ini terjadi gesekan gelinding antara bagian yang berputar dengan bagian yang diam melalui bola, silinder dan jarum.
2. Atas arah beban terhadap ulir penggerak :
- a) *Bantalan radial/radial* : menahan beban dalam arah radial/tegak lurus sumbu ulir penggerak.
 - b) *Bantal aksial/thrust* : menahan beban dalam arah aksial/sejajar dengan sumbu ulir penggerak.
 - c) Bantalan *radial-aksial* : Bantalan yang mampu menahan kombinasi beban dalam arah radial dan arah aksial/ bantalan gelinding khusus.



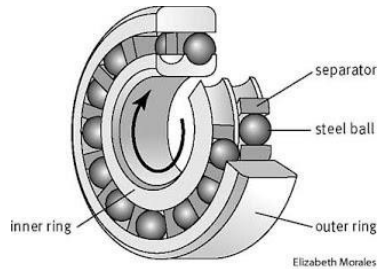
Gambar 2. 9 Tipe – Tipe Bantalan

(Sularso, 1985)

2.14.3 Perencanaan Bantalan

Dalam perencanaan ini akan digunakan jenis bantalan *gelinding (rolling bearing)* karena bantalan ini mampu menahan beban aksial maupun radial relatif besar. Bantalan

gelinding umumnya lebih cocok untuk beban kecil daripada bantalan luncur. Tergantung dari pada bentuk elemen gelindingnya. Putaran pada bantalan ini dibatasi oleh gaya sentrifugal yang timbul pada elemen gelinding tersebut. Karena konstruksinya yang sulit dan ketelitian nya yang tinggi, maka bantalan gelinding ini hanya dibuat di pabrik-pabrik tertentu.



Gambar 2. 10 Bagian – bagian Bantalan

(www.developmentsciencetechnology.blogspot.com)

2.14.4 Beban Ekuivalen pada Bantalan

Beban ekuivalen adalah beban radial yang konstan yang bekerja pada bantalan dengan ring dalam yang berputar dan ring luar yang tetap, dan akan memberikan umur yang sama, seperti bila bantalan bekerja dengan kondisi nyata untuk beban dan putaran yang sama. Beban ekuivalen pada bantalan adalah (*aaron deutschman*) :

$$P = V \cdot X \cdot F_r + Y \cdot F_a \quad (2.4)$$

Dimana :

P = beban ekuivalen (kgf)

F_r = beban radial (kgf)

F_a = beban aksial (kgf)

V = faktor putaran (konstan) bernilai : 1,0 untuk ring dalam yang berputar 1,2 untuk ring luar yang berputar

X = konstanta radial (lihat tabel)

Y = konstanta aksial (lihat tabel)

2.14.5 Ulir Penggerak (*Power Screw*)

Ulir penggerak digunakan untuk meneruskan gerakan secara halus dan merata, disamping itu juga untuk menghasilkan gerakan linier yang berasal dari gerakan rotasi (memutar). Kinematika ulir penggerak sama dengan baut dan mur, bedanya terletak pada bentuk geometrisnya. Ulir penggerak mempunyai geometris yang aplikasinya untuk menghasilkan gerakan, oeh karena itu termasuk alat penggerak (*motion devices*).

Secara umum ulir penggerak mempunyai efisiensi antara 30%-75% tergantung pada sudut helix dan koefisien gesek antara ulir pada batang dengan ulir pada mur. Bila diinginkan efisiensinya naik sampai 90%, maka digunakan system ulir “*ball screw*”. System ini biasa digunakan untuk mekanisme *steer* mobil (*the steering mechanism of auto mobile*).



Gambar 2. 11 Ball Screw

(anaheimautomation.com)

2.14.6 Macam-macam Jenis Ulir Menurut Bentuknya

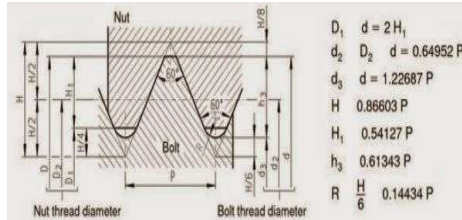
Secara umum Ulir memiliki bermacam-macam bentuk berdasarkan jenis ulirnya, antara lain :

1. Ulir Segitiga

Merupakan jenis ulir dengan profil segitiga. Ulir segitiga jenis ini memiliki banyak standar, diantaranya :

a. Ulir Metrik (*Metric Standard Thread*)

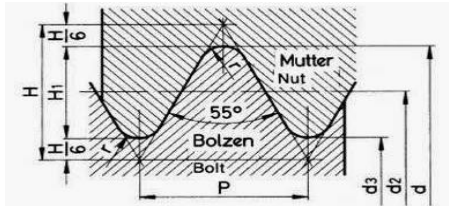
Merupakan ulir segitiga dengan sudut puncak 60° dan keseluruhan dimensi dalam satuan metris. Ulir jenis ini memiliki *symbol* “M”.



Gambar 2. 12 Metrik Standart Thread
(Sularso, 1985)

b. Ulir Whitworth (Whitworth Standard Threads)

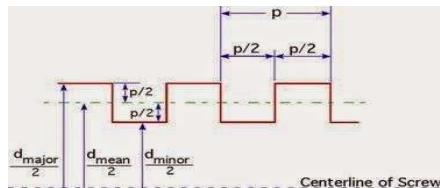
Merupakan ulir segitiga dengan sudut puncak 55° dan keseluruhan dimensi dalam satuan *british (inchi)*. Ulir jenis ini memiliki *symbol "W"*.



Gambar 2. 13 Whitworth Standard
(Sularso, 1985)

2. Ulir Segiempat (Square Threads)

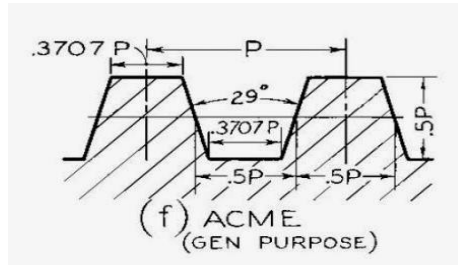
Merupakan ulir dengan bentuk profil segiempat, biasanya digunakan untuk beban berat misalnya pada bendungan pintu air. Ulir segiempat disimbolkan dengan huruf "Sq".



Gambar 2. 14 Square Threads
(Sularso, 1985)

3. Ulir Acme (Acme Threads)

Merupakan ulir dengan profil trapesium dengan sudut puncak 29° . Ulir jenis ini biasanya digunakan pada eretan maupun *leadscrew*. Ulir ini disimbolkan dengan "acme".

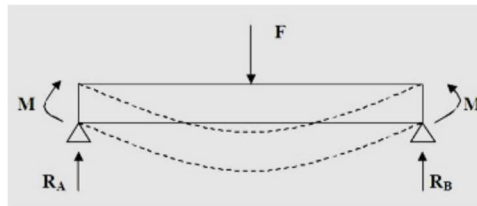


Gambar 2. 15 Acme Thread
(Sularso, 1985)

Tegangan-tegangan yang terjadi pada ulir penggerak adalah sebagai berikut :

a. Tegangan *Bending*

Beban W dianggap merata dan bekerja pada diameter rata-rata (d_m), yang berjarak $0.5 h$ dari kaki ulir. Oleh karena itu dapat dianggap bagian yang diarsir pada gambar sebagai suatu batang *sentilever* yang pendek.



Gambar 2. 16 Sket Momen Bending

(Sularso, 1985)

a. Momen *bending* maksimum

$$M = \frac{w \cdot h}{2} \quad (2.5)$$

M = Momen bending maksimum

h = Kedalaman ulir

n = Jenis atau jumlah ulir

b. Tegangan Bending

$$\sigma_B = \frac{M.c}{I} \quad (2.6)$$

c = Jarak yang diukur dari tempat terkena gaya ke titik netral

c. Momen Inersia

$$I = \left(\frac{1}{12} \right) (\pi . dm . n) . b^3 \quad (2.7)$$

d. Momen Tahanan

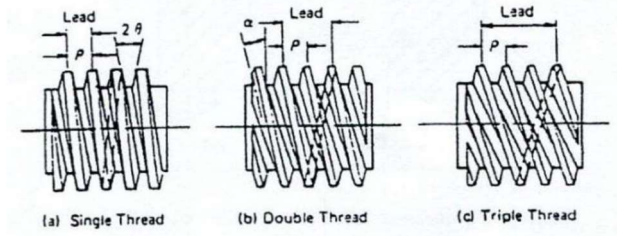
$$\frac{I}{c} = \frac{\frac{1}{12} (\pi . dm . n) . b^3}{0,5 b} = \frac{(\pi . dm . n) . b^2}{6} \quad (2.8)$$

Dari persamaan (2.5) dan (2.6) besarnya tegangan *bending* maksimum yang terjadi adalah :

$$\sigma_B = \frac{M.c}{I} = \frac{M}{I/c} = \frac{W.0,5 h}{(\pi . dm . n) . b^2 / 6}$$

$$\sigma_B = \frac{3 . W . h}{(\pi . dm . n) . b^2}$$

b. Tegangan Geser (*Transverse Shearing Stress*)



Gambar 2. 17 Jenis-jenis Ulir Penggerak
(Sularso, 1985)

$$\tau_{\max} = \frac{1,5 W}{A} \quad (\text{Untuk } z = \text{ nol})$$

Dimana :

A = Luas penampang geser, in^2

Untuk batang ulir $A = \pi \cdot d_r \cdot n \cdot b$

Untuk mur $A = \pi \cdot d_o \cdot n \cdot b$

d_r = diameter kaki pada batang ulir, in

d_o = diameter mayor dari ulir, in

Tegangan geser maksimum pada batang ulir

$$\tau_{\max} = \frac{3 \cdot W}{2 \cdot A} = \frac{3 \cdot W}{2 \cdot \pi \cdot d_r \cdot n \cdot b}$$

Tegangan geser maksimum pada mur

$$\tau_{\max} = \frac{3 \cdot W}{2 \cdot A} = \frac{3 \cdot W}{2 \cdot \pi \cdot d_o \cdot n \cdot b} \quad (2.9)$$

c. Tegangan Tarik atau Tegangan kompresi

Akibat beban W *power screw* juga mengalami tegangan tarik atau tegangan kompresi. Luas bidang yang mengalami tegangan pada ulir penggerak ini lebih besar dari pada luasan dari

bidang kaki ulir, dan diameternya adalah diameter rata-rata dari *pitch* dan diameter kaki (*root*). Luas bidang yang mengalami tegangan ini disebut “*tensile stress area*”. Jika ulirnya sendiri dianggap kuat, maka luasan bidang yang akan mengalami tegangan tarik atau kompresi ini didasarkan pada diameter kaki ulir, atau diameter batang yang tidak berulir (bagian dalam). Besarnya tegangan tarik atau tegangan kompresi yang timbul dapat dirumuskan :

$$\tau_1 = \frac{W}{A}$$

$$A = \frac{\pi}{4} \left(\frac{dr + dp}{2} \right)^2$$

Dimana : dr = diameter kaki (root diameter), in
 dp = diameter pitch, in

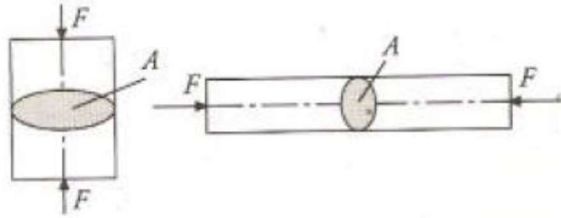
Bila ulirnya dianggap kuat dan yang dihitung adalah kemampuan batangnya, maka yang dimaksud dengan luas permukaan tarik atau geser adalah :

$$A = \frac{\pi}{4} dr^2 \quad (2.10)$$

d. Tegangan Kombinasi

Bila batang ulir dianggap pendek, maka lenturan yang terjadi diabaikan. Oleh sebab itu ulir penggerak secara murni hanya menerima beban kompresi saja. Bila ditinjau pada diameter kaki ulir, maka pada luasan itu akan terjadi tegangan kombinasi antara kompresi dan geser yang ditimbulkan oleh torsi pada saat memutar ulir tersebut.

1. Tegangan kompresi (terjadi pada area kaki ulir)



Gambar 2. 18 Sket tegangan kompresi

$$\sigma_c = \frac{W}{A} = \frac{4 \cdot W}{\pi \cdot dr^2} \quad (2.11)$$

2. Tegangan geser yang disebabkan oleh torsi pemutar (T)

$$\tau = \frac{T \left(\frac{dr}{2} \right)}{J} = \frac{T \left(\frac{dr}{2} \right)}{\pi \left(\frac{dr^4}{32} \right)} = \frac{16 T}{\pi \cdot dr^3}$$

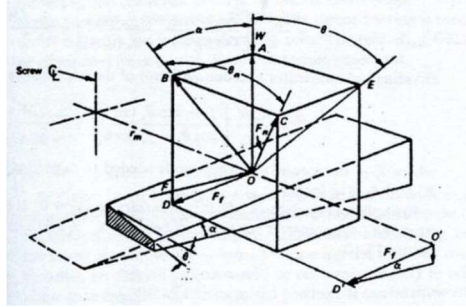
Tegangan geser maksimum yang terjadi dapat dihitung dengan metode Lingkaran Mohr.

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_c}{2} \right)^2 + (r)^2}$$

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{4 \cdot W}{2 \cdot \pi \cdot dr^2} \right)^2 + \left(\frac{16 \cdot T}{\pi \cdot dr^3} \right)^2}$$

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{2 \cdot W}{\pi \cdot dr^2} \right)^2 + \left(\frac{16 \cdot T}{\pi \cdot dr^3} \right)^2} \quad (2.12)$$

Gaya yang dipergunakan untuk memutar *nut* adalah F bekerja pada “*mean dismeter*” (r_m) untuk melawan beban W tersebut, maka besarnya torsi yang diperlukan adalah :



Gambar 2. 19 Diagram gaya ulir penggerak

(Sularso, 1985)

$$F_r = F \cdot r_m$$

Dimana :

$$F = F_1 \cos a + \frac{F_n \cos \theta_n \sin a}{W}$$

$$F_n = \frac{W}{\cos \theta_n \cdot \cos a - f_s \cdot \sin a}$$

Jadi $T_R = r_m (F_f \cdot \cos a + F_n \cos \theta_n \sin a)$

Dimana : $F_f = f_s \cdot F_n$

$$T_R = r_m (f_s \cdot F_n \cdot \cos a + F_n \cos \theta_n \sin a)$$

Bila koefisien gesekan adalah F_c , jari-jari rata-rata *collar* adalah r_{mc} , maka gaya gesek pada mur dan *collar* yang ditimbulkan oleh beban W adalah $F_c \cdot W$, sehingga torsi yang dibutuhkan untuk melawan ini adalah : $r_{mc} \cdot F_c \cdot W$ Sehingga total torsi yang diperlukan adalah :

$$T_R = r_m (f_s \cdot F_n \cdot \cos a + F_n \cos \theta_n \sin a) + r_{mc} f_c \cdot w$$

$$T_R = r_m \left(\frac{W \cdot f_s \cdot \cos a}{\cos \theta_n \cdot \cos a - f_s \cdot \sin a} + \frac{W \cdot f_s \cdot \sin a}{\cos \theta_n \cdot \cos a - f_s \cdot \sin a} \right)$$

Dimana

$$r_m = \frac{d_m}{2} \text{ dan } r_{mc} = \frac{d_{mc}}{2}$$

:

$$\tan \theta_n = \frac{BC}{OB} \text{ dan } BC = AE = OA \tan \theta = OB \cdot \cos a \cdot \tan \theta$$

$$\tan \theta_n = \cos a \cdot \tan \theta$$

Dalam aplikasi, a relatif kecil sehingga $\cos a = 1$, dan $\tan \theta_n = \tan \theta$, dengan demikian maka dapat dianggap $\theta_n = \theta$, sehingga :

$$T_r = \frac{dm \cdot W}{2} \left(\frac{fs + \cos \theta \cdot \tan a}{\cos \theta - fs \cdot \tan a} \right) + \frac{dm_c \cdot fc \cdot W}{2}$$

Torsi yang dibutuhkan untuk menurunkan beban adalah sama dengan T_R , hanya karena berlawanan arah maka tanda-tanda pada suku gesekan antar ulir dibalik, sehingga :

$$T_R = \frac{dm \cdot W}{2} \left(\frac{fs + \cos \theta \cdot \tan a}{\cos \theta - fs \cdot \tan a} \right) + \frac{dm_c \cdot fc \cdot W}{2}$$

Melihat kembali ke depan, sehingga :

$$\tan a = \frac{l}{\pi \cdot dm} = \frac{n \cdot p}{\pi \cdot dm}$$

Substitusikan ke persamaan di atas, sehingga menjadi :

$$T_r = \frac{dm \cdot W}{2} \left(\frac{\pi \cdot fs \cdot dm - l \cos \theta_n}{\pi \cdot dm \cdot \cos \theta_n - fs \cdot l} \right) + \frac{dm_c \cdot fc \cdot W}{2}$$

$$T_R = \frac{dm \cdot W}{2} \left(\frac{\pi \cdot fs \cdot dm - l \cos \theta_n}{\pi \cdot dm \cdot \cos \theta_n + fs \cdot l} \right) + \frac{dm_c \cdot fc \cdot W}{2} \quad (2.13)$$

2.14.7 Penggerak Poros Ulir

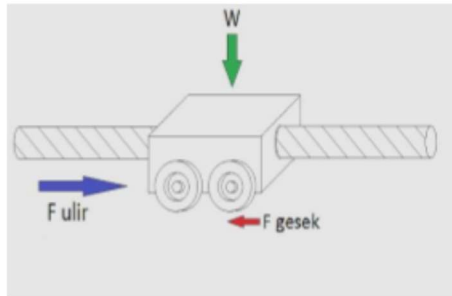
Pergerakan sumbu X, dan Y digerakkan oleh sebuah motor sebagai penggerak dan poros ulir sebagai pengubah gaya punter motor menjadi gaya dorong pada sumbu X dan Y. Gaya dorong ulir

dapat diketahui dengan perhitungan tenaga ulir (*power screw*). Persamaan yang digunakan untuk menghitung torsi gaya dorong ulir (Shigley and Mischke, 2001).

$$T = \frac{F \cdot d_m}{2} \left(\frac{1 + \pi \cdot \mu \cdot d_m}{\pi \cdot d_m - \mu \cdot l} \right) \quad (2.14)$$

Dimana :

T	= Torsi pada ulir (Nm)
D_m	= Diameter efektif ulir (m)
F	= Gaya dorong ulir (N)
μ	= Koefisien gesek permukaan ulir
l	= Kisar / pitch (m)



Gambar 2. 20 Mekanisme ulir penggerak

Gaya dorong ulir adalah gaya minimum yang dibutuhkan untuk mendorong meja kerja. Sehingga nilainya dipengaruhi oleh massa meja kerja dan koefisien gesek permukaan dari meja kerja dengan permukaan yang menopangnya dan bukan koefisien gesek antara dua permukaan ulir. Dalam hal ini, karena meja kerja menggunakan bantalan bearing sebagai roda maka koefisien gesek yang bekerja adalah koefisien gesek bearing tersebut.

Diameter efektif ulir atau diameter tusuk ulir ialah diameter semu yang letaknya diantara diameter luar dan diameter inti. Pada radius diameter inilah letak titik singgung antara dua ulir. Motor dapat mendorong meja kerja disebabkan oleh torsi yang dihasilkan motor harus lebih besar dari pada torsi yang bekerja pada ulir. Torsi pada motor berbanding terbalik dengan kecepatan

motor, semakin besar kecepatan motor maka torsi yang dihasilkan akan menurun. Untuk menentukan torsi yang dihasilkan oleh sebuah motor digunakan persamaan (*Histand dan Alciatore, 1999*).

$$T = \frac{P}{\omega}$$

Dimana : T = Torsi yang dihasilkan motor (Nm)
 P = Daya yang digunakan (watt)
 ω = Kecepatan sudut (rad/s)

2.14.8 Perhitungan Daya Motor

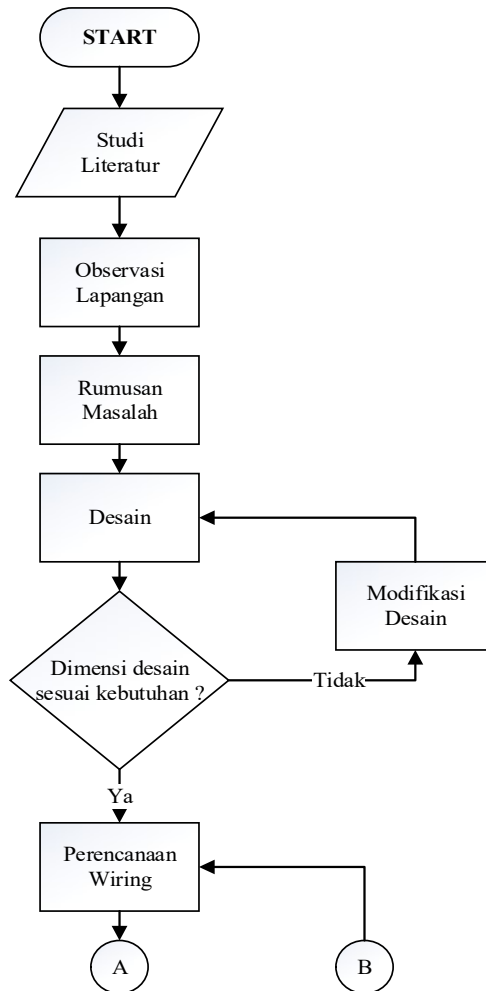
Daya mekanis motor dinyatakan dalam *horse power* (h_p) atau *watt* (W), dimana $1 h_p = 746 W$. Torsi dan kecepatan merupakan dua faktor penting dalam menentukan *output* daya mekanis. Torsi sendiri adalah besarnya puntiran / daya pemutar, dinyatakan dalam *pound-feet* (lb/ft). kecepatan motor dinyatakan dalam putaran per menit. Sehingga *horse power* dapat dirumuskan sebagai berikut.

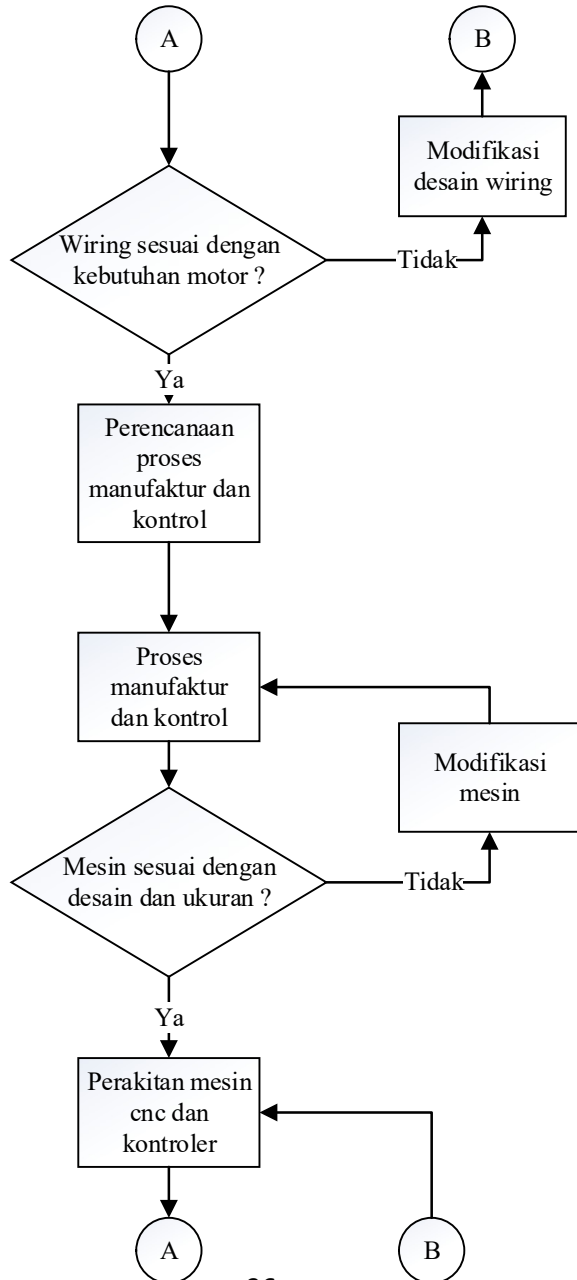
$$P = \frac{T}{9,74 \times 10^5} n1 \quad (2.15)$$

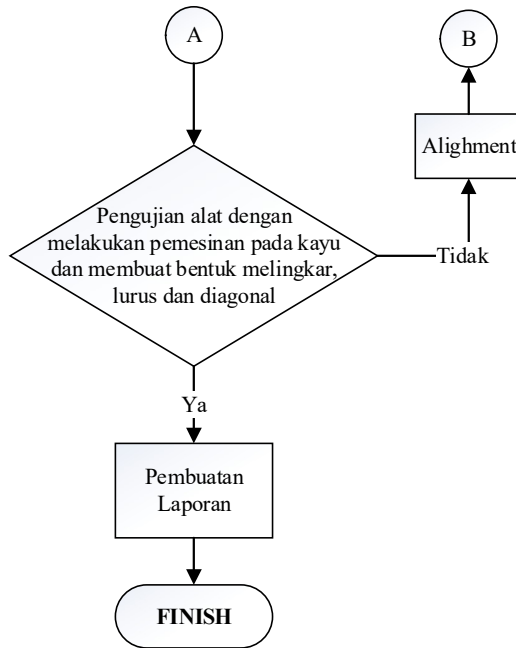
Dimana : P = Daya motor listrik (kW)
 T = Torsi (Kgf.mm)

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian







Gambar 3. 1 Flow Chart Diagram

Metode yang digunakan dalam suatu analisa atau studi harus terstruktur dengan baik sehingga dapat dengan mudah menerangkan atau menjelaskan penelitian yang dilakukan. Oleh karena itu dalam tugas akhir ini digunakan metode simulasi yang dapat diuraikan seperti diagram alir di atas.

a. Studi Literatur

Pada studi literatur meliputi kegiatan mencari dan mempelajari bahan pustaka yang berkaitan dengan permasalahan mengenai mesin CNC (*Computer Numerically Controlled*), perencanaan *wiring* dan kontrol dan dimensi dari CNC 3 sumbu serta perencanaan dan pemilihan elemen mesin. Studi literatur ini

diperoleh dari berbagai sumber antara lain buku / *text book*, diktat yang mengacu pada referensi, publikasi-publikasi ilmiah, tugas akhir dan penelitian yang berkaitan dan media internet.

b. Observasi Lapangan

Sebelum membuat mesin CNC (*Computer Numerically Controlled*) kayu dilakukan observasi lapangan. Tempat Penelitian ini dilaksanakan di lab 3 dan 4 gedung pusat robotika ITS.

Dalam menyelesaikan tugas akhir ini langkah pertama yang dilakukan adalah studi literatur tentang konstruksi, kerangka dan komponen CNC yaitu Penyambungan plat dengan Aluminium dengan bahan yang memiliki harga terjangkau dan ringan, kerangka menggunakan baja profil serta pengujiannya pada sifat mekanis dan ketangguhannya, langkah selanjutnya yaitu melakukan percobaan pada benda uji. Untuk memperjelas, berikut tahapan tahapan yang akan dilakukan. Observasi ini meliputi PC Base Stepper Motor, PC Base Servo Motor, dan CNC Motion Control. Dari ketiga alat ini, dipelajari tentang cara kerja gerakan sumbunya, konstruksi desain, *wiring* dan *controller* serta observasi lainnya yang berhubungan dengan pembuatan tugas akhir ini.

Material yang digunakan adalah aluminium alloy dan aluminium profil dengan dimensi 20 cm x 40 cm, baja pfofil 20 cm x 40 cm dan tebal 2 - 3 mm. Material tersebut di perkuat dengan di tempeli plat besi dengan ketebalan 5 mm dan di sambung dengan baut.

c. Rumusan Masalah

Setelah dilakukan studi literatur, banyak informasi yang didapat. Informasi yang didapat antara lain dimensi, konstruksi, spesifikasi masing-masing komponen, *wiring* dan *controller*. Dengan adanya informasi yang telah didapat, timbul suatu permasalahan. Permasalahan yang timbul antara lain dimensi dan konstruksinya sehingga menimbulkan sebuah pemikiran dan solusi dari permasalahan tersebut.

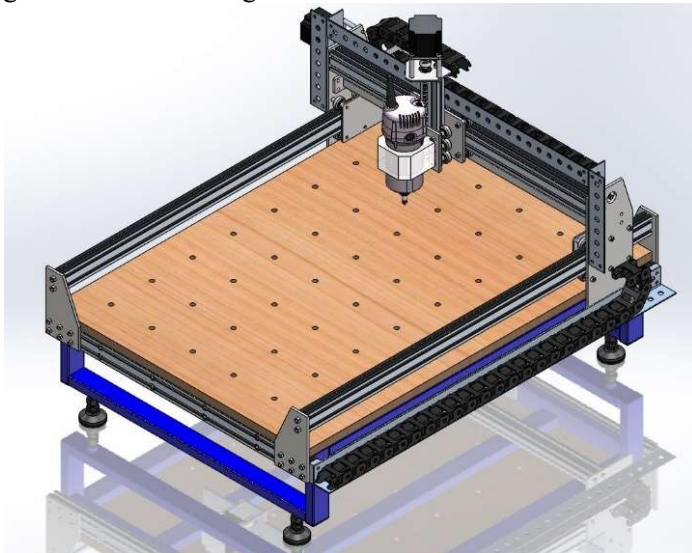
Berdasarkan permasalahan diatas, maka Tugas Akhir ini mempunyai rumusan masalah yang harus di selesaikan yaitu

bagaimana desain praktis, proses manufaktur, dan sistem kontrol woodworking CNC machine berbahan aluminium profil dan baja profil untuk produksi bahan berdimensi 500 mm.

d. Desain

Dari hasil studi literatur tentang CNC milling machine maka dilakukan sket gambar mesin CNC milling yang sesuai untuk pengerjaan industri kreatif, setelah itu sket gambar ini dimodel dengan menggunakan *software solidworks*. Dengan adanya rumusan masalah tersebut, maka dibuat sebuah sket gambar kerangka CNC dengan dimensi dapat digunakan untuk produksi. Pada sketan ini masih menggunakan ukuran kasar sebagai acuan awal dalam mendesain. Sket komponen-komponen ini mengacu pada observasi yang telah dilakukan sebelumnya.

Pada desain alat ini menggunakan *software solidwork* yang dihasilkan dari sket gambar yang telah dilakukan sebelumnya. Desain alat yang dibuat berupa kerangka, penempatan motor stepper dan driver dengan kontroler, penggerak sumbu x, y dan z. Dengan desain tersebut maka dapat dilakukan perhitungan. Desain yang dibuat adalah sebagai berikut :



Gambar 3. 2 Hasil Renderan Desain konsep alat

e. Desain Sesuai

Model dikatakan sesuai ketika model sudah memenuhi persyaratan yang ada dalam merencanakan mesin CNC, model juga dituntut sederhana dan memudahkan dalam pengoperasian sehingga membantu dalam peningkatan kualitas industry kreatif. Ketika tidak sesuai maka dilakukan modifikasi desain sampai menemukan model yang sesuai.

f. Perencanaan *Wiring*

Ketika model *mechanic CNC Milling Machine* sudah jadi kemudian dilakukan perencanaan *wiring*. Perencanaan *wiring* ini meliputi perencanaan motor yang akan digunakan, driver yang akan digunakan, penempatan driver.

g. *Wiring* Sesuai

Wiring dinyatakan sesuai ketika motor dan driver yang digunakan akan sesuai pada model yang digunakan, control panel sesuai pada fungsi-fungsi yang telah diinput, komponen elektrik yang digunakan sudah terkoneksi semua meliputi *relay* sebagai limit dan home *switch*, motor spindle ac, tombol *emergency* dan driver membaca setiap perintah yang telah diinput. Ketika belum sesuai maka dilakukan modifikasi *wiring* sampai mencapai *wiring* yang sesuai.

h. Perencanaan Proses Manufaktur

Pada perencanaan proses manufaktur ini bertujuan agar proses perencanaan dalam mendesain sebuah alat atau prodak mampu terperinci dan tertata dengan baik. Dapat di ketahui apa saja yang akan diproses dan apa saja yang akan di gunakan untuk memproses produk tersebut yang sesuai, efisien. Perencanaan proses manufaktur meliputi desain *CAM (Computer Add Machining)* menggunakan mesin mini CNC pada komponen kecil yang perlu dilakukan proses *machining*.

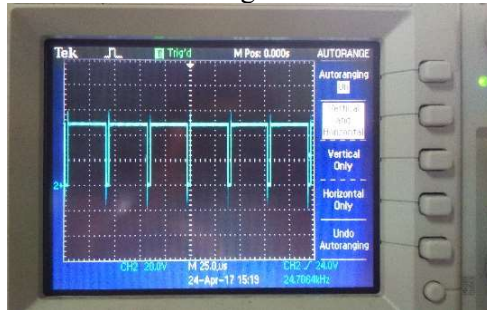
i. Perakitan Mesin dan Kontroller

perakitan mesin dengan cara menyambungkan part dari komponen satu ke komponen lain dari kerangka cnc, alluminium

profile, plat baja, *roller* sebagai sistem *motion*, *leadscrew*, motor stepper dan panel kontroller yang berisi unit PC, driver, *bread board*, *power supply* dan *relay*.

j. Pengujian

Pengujian bertujuan untuk mencari data yang akan dicari meliputi keluaran sinyal dari *brackoutbord Mach3*, dimensi, kepresisian gerak melingkar gerak lurus serta pengujian melakukan machining pada kayu. Pengujian sudah menggunakan software Mach3, setting motor dan kalibrasi gerak.



Gambar 3. 3 Pengujian sinyal pulsa

k. Laporan

Setelah semua tahap dilakukan maka selanjutnya dilakukan penyusunan laporan. Permodelan 3 dimensi dari benda uji dilakukan dengan bantuan perangkat lunak SOLIDWORK. Pada rancangan penelitian ini setiap komponen dimodelkan baik secara detail dan secara penyederhanaan. Model detail digunakan untuk membuat gambar kerja dari mesin sedangkan model yang disederhanakan digunakan untuk simulasi analisa numerik.

l. Selesai

3.2 Material Penyusun

Material utaa penyusun rangka meja CNC kayu dalam tugas akhir ini adalah :

Tabel 3. 1 Daftar material penyusun rangka meja cnc kayu

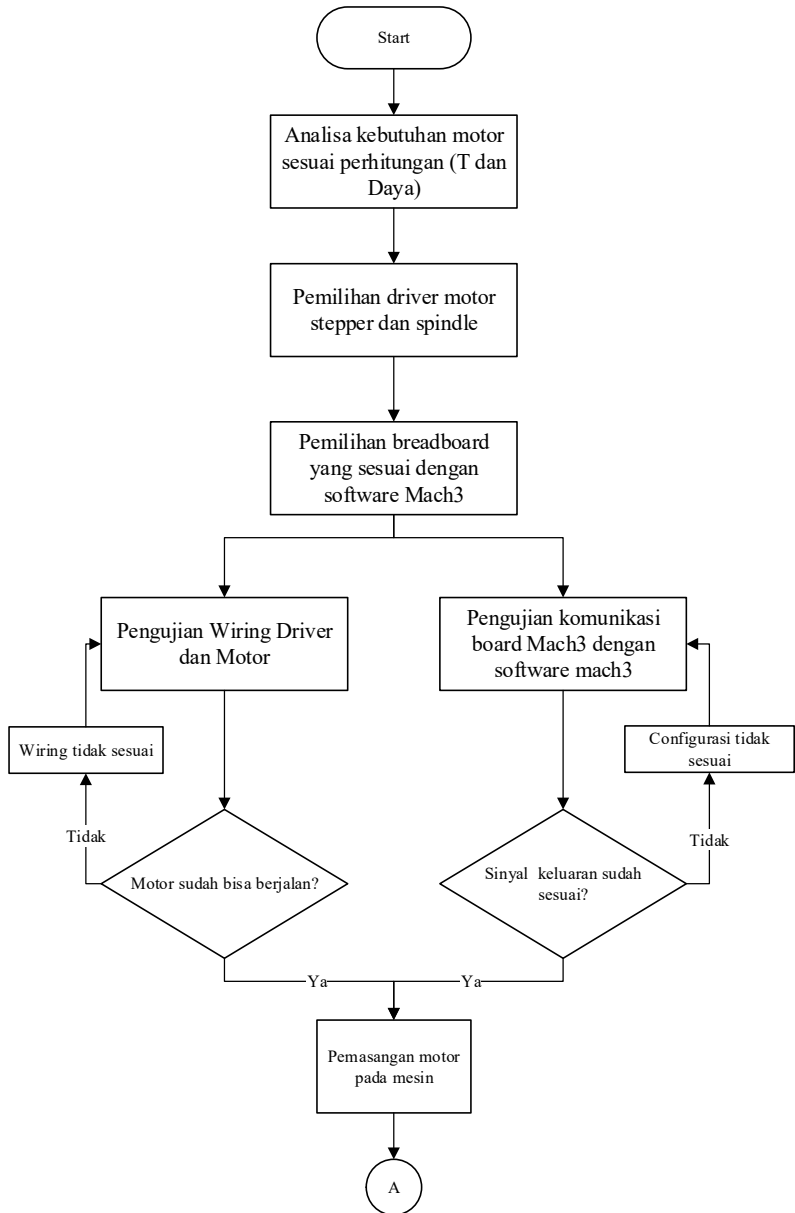
No.	Nama	Kekuatan Yield
1.	Aluminium 6061-T6	276 Mpa
2.	Steel ST 37	235 MPa

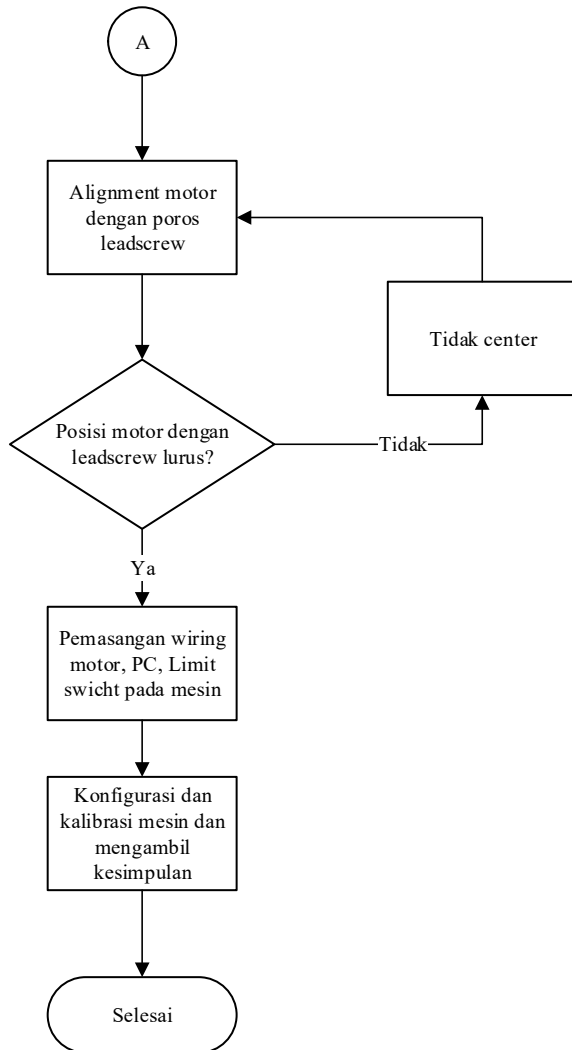
Sumber : *matweb.com*

Selain material-material diatas, beberapa penyusun seperti tebal cat, kabel dan panel diabaikan.

3.3 Diagram Alir Instrumentasi

Diagram alir instrumentasi menjelaskan bagaimana metode yang dilakukan untuk merancang sistem wiring, elektrikl dan kebutuhan motor yang digunakan pada mesin. Dengan perancangan sistem instrumentasi kita dapat menyusun urutan kerja dari analisa kebutuhan motor sampai dengan pemasangan dengan hardware. Sehingga pada saat pemilihan komponen akan sesuai dengan kebutuhan minimalnya. Berikut adalah gambar diagram alir yang telah direncanakan :





Gambar 3. 4 Diagram Alir Instrumentasi

3.4 Penjelasan Diagram Alir Instrumentasi

1. Analisa kebutuhan motor

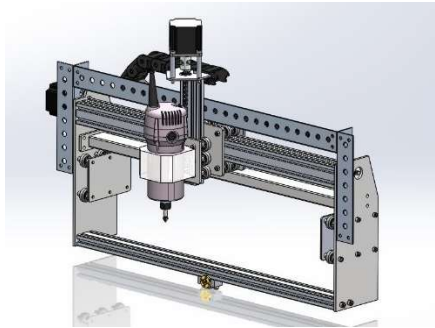
Metode yang digunakan dengan cara melakukan perhitungan pada tiap sumbu yang dikenai beban data

yang dicari berupa daya dan torsi minimal yang dibutuhkan tiap sumbu yang bergerak, sehingga didapatkan spesifikasi minimal pada motor stepper.

2. Pemilihan driver motor
Pemilihan driver motor mengacu pada motor yang digunakan, pada mesin ini menggunakan motor dengan kuat arus maksimal 2A maka dari itu pemilihan driver harus lebih tinggi dengan kebutuhan motor. Driver yang digunakan dengan kuat arus maksimal 3A.
3. Pemilihan *breakoutboard* untuk kontroller
Pemilihan kontroller sesuai dengan rencana awal, yaitu menggunakan Mach3
4. Pengujian wiring dengan motor dan kontroller
Pengujian dilakukan untuk mencoba apakah kondisi motor sebelum dipasang sudah berkerja dengan baik.
5. Pemasangan motor pada mesin
Pemasangan motor sumbu Y berada di bawah *table*, motor sumbu X berada di gantri ikut dengan sumbu Y yang bergerak dan motor sumbu Z menopang sumbu X dan Y.
6. *Alignment* motor dengan poros *leadscrew*
Alignment merupakan proses terpenting karena mempengaruhi kinerja dari motor stepper tersebut. Agar gerak yang dihasilkan mulus, maka tiap sumbu harus di luruskan antara poros motor dengan poros *leadscrew*.
7. Pemasangan wiring motor, PC, kontroller dan limit switch
Pemasangan dilakukan ketika mekanik sudah jadi dan motor sudah terpasang pada tiap sumbu nya. Pemasangan wiring dengan menghubungkan kabel pada tiap motor dan sensor limit.
8. Konfigurasi dan kalibrasi mesin
Konfigurasi bertujuan untuk mengatur sinyal input agar sesuai dengan pengaturan pada software. Kalibrasi bertujuan untuk mendapatkan jarak yang sesuai antara program dengan jarak sebenarnya.

3.5 Perencanaan Desain

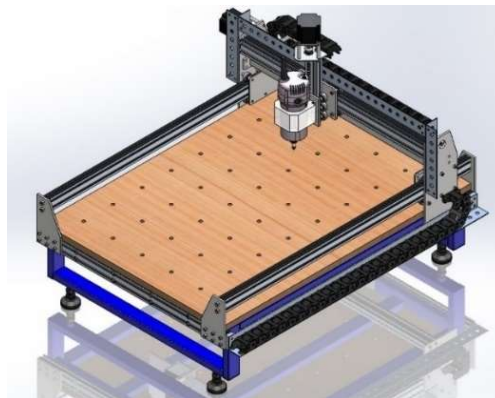
Proses desain menggunakan *software* SOLIDWORK dengan menggambar tiap part dan tentunya dimensi yang dikerjakan harus sesuai dengan part satu dengan yang lain agar proses *assembly* mudah. Pada desain yang dibuat terdapat beberapa bagian utama yaitu bagian sumbu yang bergerak dan bagian meja tetap.



Gambar 3. 5 Sumbu X dan Z

3.5.1Komponen Mekanik

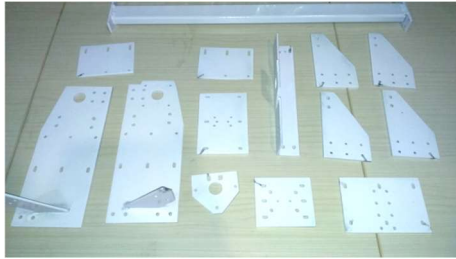
Mesin ini menggunakan beberapa komponen dan material pendukung alumunium dan plat baja.



Gambar 3. 6 Desain CNC

1. Plat Base

Plat ini digunakan sebagai pendukung penghubung berbagai part dan merupakan tempat tumpuan beban pada mesin cnc. Plat yang digunakan berbahan plat besi ST37 yang banyak dijumpai di pasaran. Pemilihan bahan menggunakan plat bertujuan untuk mempermudah proses produksi.



Gambar 3. 7 Plat Base

2. Kerangka Utama

Kerangka yang digunakan berbahan dasar baja profil 2040 dan dibentuk dengan welding. Kerangka berfungsi sebagai tumpuan utama plat mesin cnc.



Gambar 3. 8 Kerangka Mesin CNC

3. Allumunium Profile

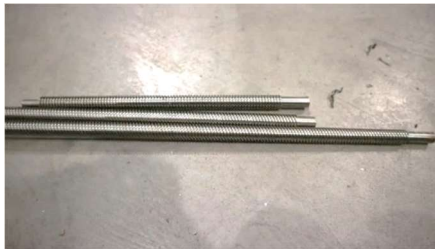
Bahan allumunium profile 2040 yang digunakan untuk kerangka pendukung mesin cnc router.



Gambar 3. 9 Allumunium Profile 2040

4. *Lead Screw*

Lead srew sebagai ulir penggerak untuk menggerakkan sumbu X, Y dan Z. Sumbu X dan Y menggunakan *Lead Screw* dengan pitch 2 mm 5 stars sedangkan sumbu Z menggunakan Lead Srew pitch 2mm 2 stars.



Gambar 3. 10 Lead Screw

5. *Nut Lead Screw*

Nut merupakan pasangan dari *lead screw* yang menstrasmisikan gaya.



Gambar 3. 11 Nut Lead Screw

6. *Nut Block*

Nut block berfungsi sebagai tempat atau rumah *nut lead screw*.



Gambar 3. 12 Nut Block

7. *V Wheel Roller*

V Wheel berbahan nilon PL dan bearing 625 berfungsi sebagai pengganti *linier motion*.



Gambar 3. 13 V Wheel Roller

8. *Flexible Coupling*

Merupakan penghubung yang menstransmisikan gaya mekanis antara motor stepper dengan lead screw. Mempunyai diameter input 6,3 mm dan diameter output 8mm.



Gambar 3. 14 Flexible Coupling

9. Ball Bearing

Adalah bantalan yang digunakan untuk menyangga dari *linier screw* dan mengurangi gaya gesek yang terjadi. Bearing yang digunakan adalah tipe F608ZZ yang mempunyai bentuk tambahan flange dan penutup seng di kedua sisinya.



Gambar 3. 15 Bearing F608ZZ

10. Kaki Meja *Adjustable*

Berfungsi untuk mengatur kerataan mesin cnc pada masing masing kaki.



Gambar 3. 16 Kaki Meja Adjustable

11. Bracket Motor Spindle

Sebagai pemegang motor spindle dari plat sumbu Z.



Gambar 3. 17 Bracket Motor Spindle

12. *Spacer*

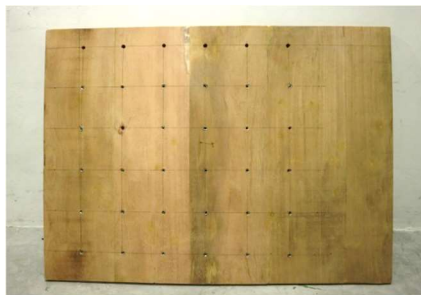
Digunakan untuk memberikan jarak pada motor stepper



Gambar 3. 18 Baut dan Spacer

13. *Work Table*

Merupakan tempat untuk meletakkan benda kerja.



Gambar 3. 19 Papan Benda Kerja

14. *Lock Nut*

Merupakan pengunci *lead screw* agar tidak bergeser pada saat menerima beban.



Gambar 3. 20 Lock Nut

15. Baut dan Mur

Berfungsi untuk mengikat sambungan yang tidak permanen dan dapat di atur. Mesin ini menggunakan baut L M4, M5, dan M6.



Gambar 3. 21 Baut dan Mur

16. *Cable Carrier*

Berfungsi sebagai tempat kabel yang berpindah agar tetap pada jalur yang disediakan. *Cable carrier* berbahan plastik fiber.



Gambar 3. 22 Cable Carrier

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan memaparkan secara jelas tentang penyajian yang telah dilakukan pada mesin WCM yang telah dibuat serta menganalisa hasil dari berbagai pengujian yang dilakukan terhadap mesin.

4.1 Pengujian Elektrik

Pengujian elektri pada mesin WCM ini meliputi pengujian output tegangan dan frekuensi dari sinyal yang diberikan ke *breakoutboars* untuk memberikan sinyal pada ketiga motor stepper dan *relay* untuk mengatur pergerakan spindle. Pengujian tersebut bermaksud untuk memastikan bahwa komputer telah mengeluarkan sinyal *output* sesuai dengan perintah oleh *software* Mach3. Sebelum mengetahui hasil uji yang didapatkan, berikut konfigurasi pin *parallel port* melalui *software* Mach3.

Tabel 4. 1 Konfigurasi pin Parallel Port yang digunakan

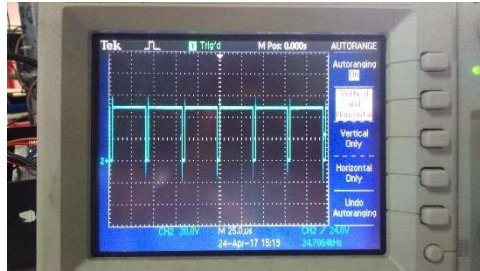
Nomor Pin	Konfigurasi
Pin 1	-
Pin 2	Step X
Pin 3	Dir X
Pin 4	Step Y
Pin 5	Dir Y
Pin 6	Step Z
Pin 7	Dir Z
Pin 8	-
Pin 9	-
Pin 10	Emergency
Pin 11	Home Y

Pin 12	Home X
Pin 13	Home Z
Pin 14	-
Pin 15	Limit X, Y, dan Z
Pin 16	-
Pin 17	-
GND	Ground
12-24V	Power

Dir merupakan arah gerakan yang mengeluarkan sinyal + dan – ketika beroperasi sedangkan step merupakan sinyal pulsa yang diberikan ke driver. Setelah dilakukan konfigurasi pin, maka langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian keluaran sinyal menggunakan *oscilloscope* dan dilakukan pengukuran tegangan pada pin. Pengujian dilakukan pada pin yang mengeluarkan sinyal dimana sinyal tersebut akan memberikan perintah pada driver untuk memutar motor *clockwise* atau *counterclockwise*.

Tabel 4. 2 Hasil pengujian tegangan

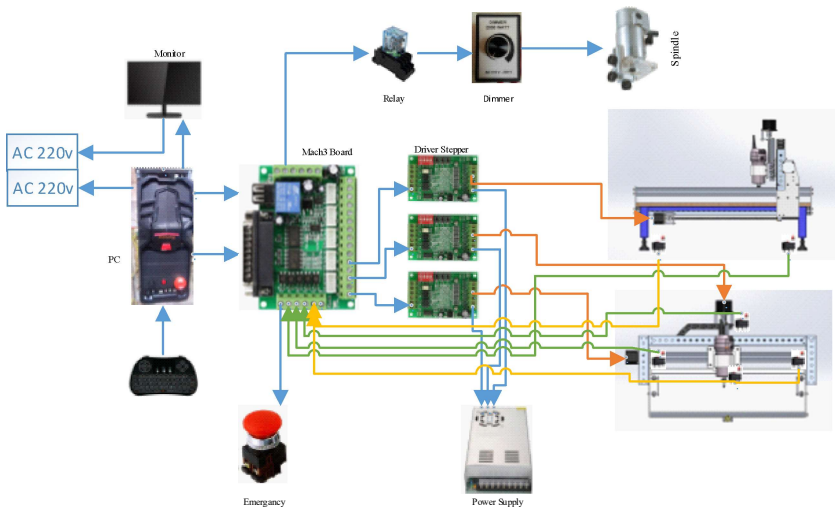
Nomor Pin	Arah Gerakan	Output Tegangan (V)
Pin 3	CW	0.1
	CCW	4.4
Pin 5	CW	0.1
	CCW	4.4
Pin 7	CW	0.1
	CCW	4.39



Gambar 4. 1 Pengujian pin sinyal pulsa

4.2 Wiring Elektrik

Wiring adalah sebuah cara penataan dan pengaturan kabel dalam sebuah jaringan komputer yang ditunjang oleh beberapa tool keamanan, agar kabel tersebut dapat terlihat rapih dan aman dalam jangka panjang.



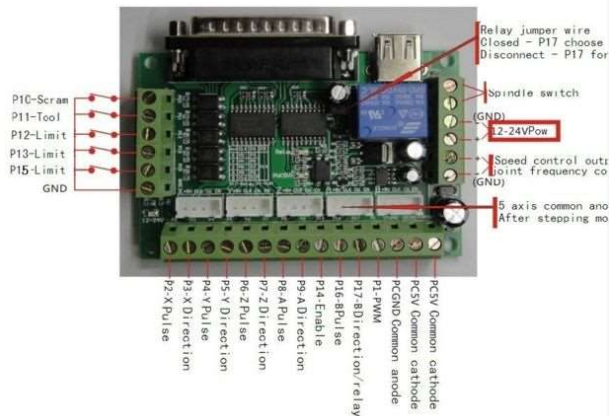
Gambar 4. 2 Wiring Hardware

Komponen-komponen pada Gambar 3.18 merupakan komponen utama pada sistem elektrik pada mesin *woodworking*

CNC dengan motor stepper. Komponen-komponen tersebut sebagai berikut:

1. Mach3 Board

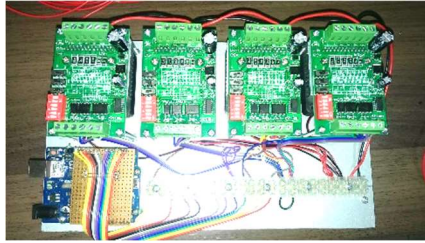
Mach3 board merupakan jenis *Breakoutboard* (BOB atau card elektronik yang berfungsi untuk menghubungkan sinyal dari komputer dengan peripheral input maupun output. BOB merupakan komponen utama yang digunakan untuk merakit mesin cnc, menghubungkan sinyal data dari komputer menuju driver atau relay, serta menghubungkan sinyal sinyal input dari luar untuk bisa dibaca dari komputer. BOB menggunakan parallel PORT komputer DB25, bisa berkerja menggunakan *software* MACH3 maupun *software* jenis lain yang berkerja dengan parallel port DB25.



Gambar 4. 3 Breakoutboard MACH3

2. Driver Stepper TB6560

Driver digunakan untuk merubah sinyal masukan berupa pulsa dan arah putaran dari breakoutboard ke driver untuk dirubah menjadi tegangan yang sesuai.



Gambar 4. 4 Susunan Driver Stepper TB65660

3. *Power Supply*

Power supply menggunakan tegangan 24V 15A untuk driver motor stepper.



Gambar 4. 5 Power Suply

4. *Motor Stepper*

Motor stepper yang digunakan dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 4. 3 Tabel Spesifikasi Motor Stepper

Model:23HS6620

<i>Step</i>	<i>Angel</i>	1.8 °
<i>Motor</i>	<i>Length</i>	56 mm
<i>Rate</i>	<i>Voltage</i>	3,6 V

<i>Rate</i>	<i>Curent</i>	2 A
<i>Phase</i>	<i>Resistance</i>	1,8
<i>Phase</i>	<i>Inductance</i>	2,5 mH
<i>Holding</i>	<i>Torque</i>	185
<i>Lead</i>	<i>Wire</i>	6 NO
<i>Rotor</i>	<i>Inertia</i>	300 g.cm ²
<i>Detent</i>	<i>Torque</i>	0,4 Kgcm
<i>Motor weight</i>		0,7 Kg



Gambar 4. 6 Motor Stepper

5. PC Base

PC ini digunakan sebagai kontroller atau otak dari mesin yang menjalankan program dari kode G yang dibuat menggunakan *software* CAM. PC Base terdiri dari seperangkat komputer meliputi unit CPU, *monitor*, *keyboard*, dan *mouse*.



Gambar 4. 7 CPU unit

6. Motor Spindle

Motor spindle menggunakan motor router yang biasa digunakan untuk membuat profil kayu. Motor ini memiliki spesifikasi :

Daya listrik	: 440 watt
Collet	: ¼ in
Kecepatan tanpa beban	: 30.000 rpm
Tinggi	: 181 mm



Gambar 4. 8 Motor Trimer

7. Dimmer 2000W

Dimmer digunakan untuk mengatur putaran pada motor AC yang dapat bekerja pada voltase rendah. Dimmer yang digunakan memiliki kapasitas daya maksimal 2000 watt.

Terdapat potensio untuk mengatur kecepatan dari titik mati sampai berkerja optimal.



Gambar 4. 9 Dimmer 2000 watt

8. Kabel

Kabel pada mesin ini menggunakan kabel serabut dengan diameter 0,75mm pada motor stepper dan diameter 1mm pada listrik tegangan 220V. Kabel berfungsi untuk menghubungkan arus listrik pada sistem elektrik.

9. Dim Konektor

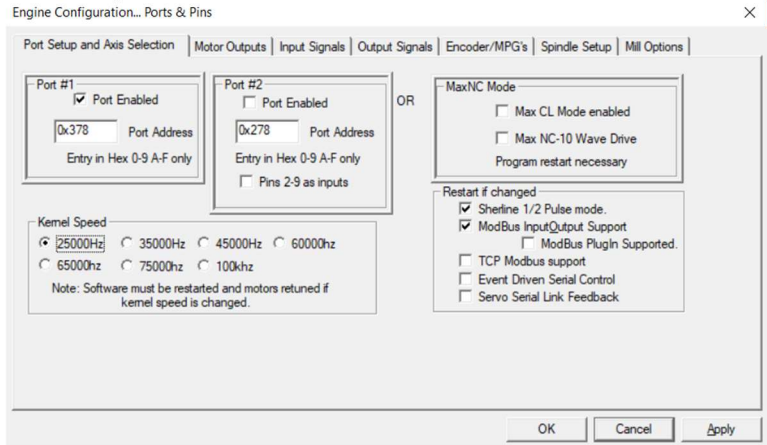
Dim konektor digunakan untuk menghubungkan kabel stepper ke box kontrol.



Gambar 4. 10 Dim Konektor

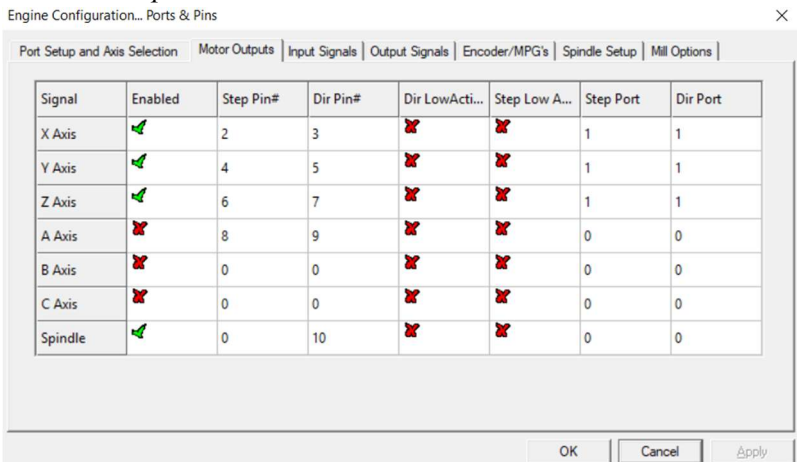
Buka Program **MACH3**, klik menu **Config -> Ports & Pins** lalu setting seperti gambar.

1. Port Setup & Axis Selection



Gambar 4. 13 Port Setup & Axis Selection

2. Motor Outputs



Gambar 4. 14 Motor Output

3. Input Signals

Engine Configuration... Ports & Pins

Port Setup and Axis Selection | Motor Outputs | **Input Signals** | Output Signals | Encoder/MPG's | Spindle Setup | Mill Options

Signal	Enabled	Port #	Pin Number	Active Low	Emulated	HotKey
X ++		1	15			0
X --		1	12			0
X Home		1	12			0
Y ++		1	11			0
Y --		1	15			0
Y Home		1	11			0
Z ++		1	13			0
Z --		1	15			0
Z Home		1	13			0

Pins 10-13 and 15 are inputs. Only these 5 pin numbers may be used on this screen

Automated Setup of Inputs

OK Cancel Apply

Gambar 4. 15 Input Signal 1

Engine Configuration... Ports & Pins

Port Setup and Axis Selection | Motor Outputs | **Input Signals** | Output Signals | Encoder/MPG's | Spindle Setup | Mill Options

Signal	Enabled	Port #	Pin Number	Active Low	Emulated	HotKey
Input #1		0	0			0
Input #2		0	0			0
Input #3		0	0			0
Input #4		0	0			0
Probe		0	0			0
Index		0	0			0
Limit Ovrd		0	0			0
EStop		1	10			0
THC On		0	0			0

Pins 10-13 and 15 are inputs. Only these 5 pin numbers may be used on this screen

Automated Setup of Inputs

OK Cancel Apply

Gambar 4. 16 Input Signal 2

4. *Output Signals*

Engine Configuration... Ports & Pins

Port Setup and Axis Selection | Motor Outputs | Input Signals | Output Signals | Encoder/MPG's | Spindle Setup | Mill Options

Signal	Enabled	Port #	Pin Number	Active Low
Digit Trig	<input checked="" type="checkbox"/>	1	0	<input checked="" type="checkbox"/>
Enable1	<input checked="" type="checkbox"/>	1	0	<input checked="" type="checkbox"/>
Enable2	<input checked="" type="checkbox"/>	1	0	<input checked="" type="checkbox"/>
Enable3	<input checked="" type="checkbox"/>	1	0	<input checked="" type="checkbox"/>
Enable4	<input checked="" type="checkbox"/>	1	0	<input checked="" type="checkbox"/>
Enable5	<input checked="" type="checkbox"/>	1	0	<input checked="" type="checkbox"/>
Enable6	<input checked="" type="checkbox"/>	1	0	<input checked="" type="checkbox"/>
Output #1	<input checked="" type="checkbox"/>	1	14	<input checked="" type="checkbox"/>
Output #2	<input checked="" type="checkbox"/>	1	17	<input checked="" type="checkbox"/>

Pins 2 - 9 , 1, 14, 16, and 17 are output pins. No other pin numbers should be used.

OK Cancel Apply

Gambar 4. 17 Output Signal

5. *Spindle Setup*

Engine Configuration... Ports & Pins

Port Setup and Axis Selection | Motor Outputs | Input Signals | Output Signals | Encoder/MPG's | Spindle Setup | Mill Options

Relay Control

☐ Disable Spindle Relays

Clockwise (M3) Output # 1

CCW (M4) Output # 1

Output Signal #'s 1-6

Flood Mist Control

☒ Disable Flood/Mist relays Delay

Mist M7 Output # 4 0

Flood M8 Output # 3 0

Output Signal #'s 1-6

ModBus Spindle - Use Step/Dir as well

☐ Enabled Reg 64 64 - 127

Max ADC Count 16380

Motor Control

☒ Use Spindle Motor Output

☐ PWM Control

☒ Step/Dir Motor

PWMBase Freq. 5

Minimum PWM 0 %

Special Functions

☐ Use Spindle Feedback in Sync Modes

☐ Closed Loop Spindle Control

P 0.25 I 1 D 0.3

☐ Spindle Speed Averaging

General Parameters

CW Delay Spin UP 1 Seconds

CCW Delay Spin UP 1 Seconds

CW Delay Spind DOWN 1 Seconds

CCW Delay Spin DOWN 1 Seconds

☐ Immediate Relay off before delay

Special Options, Usually Off

☐ HotWire Heat for Jog

☐ Laser Mode. freq I

☐ Torch Volts Control

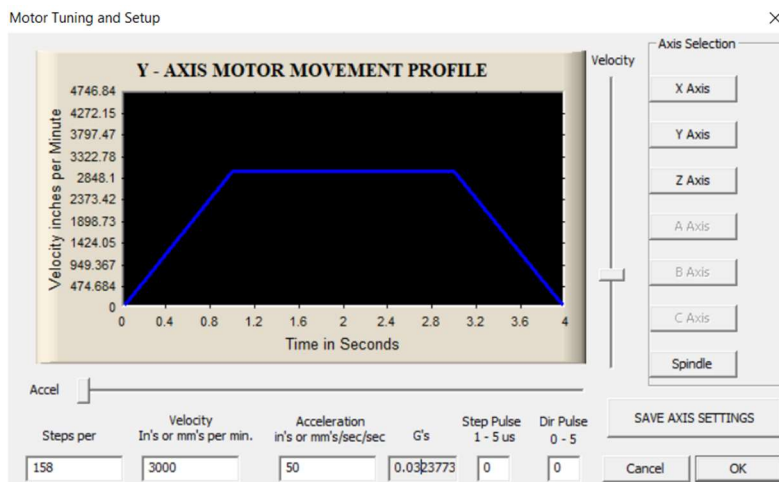
☐ Torch Auto Off

OK Cancel Apply

Gambar 4. 18 Spindle Setup

6. Tuning Motor X dan Y axis

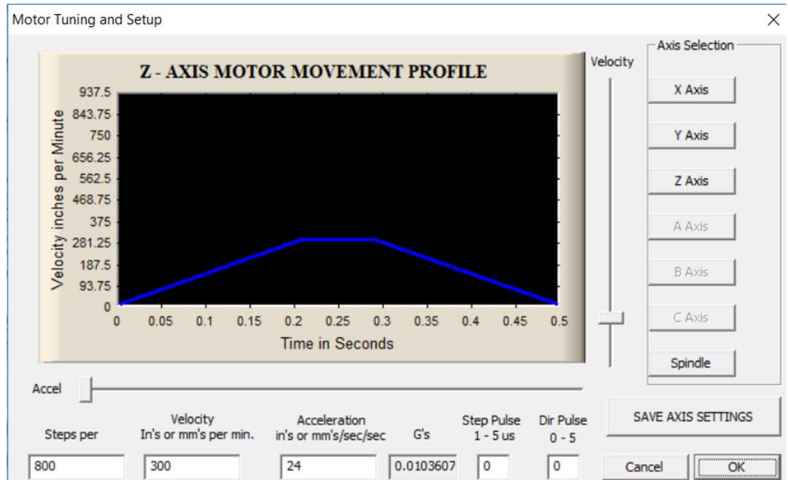
Dikarenakan motor X dan Y mempunyai sistem mekanik dan pembagian pulsa oleh driver yang sama, maka pengaturan tuning motor juga sama. Dengan *leadscrew* jumlah stars 5 maka motor memerlukan 158-160 pulsa/mm. Kecepatan maksimal yang mampu di lakukan oleh motot stepper X dan Y adalah sebesar 3 m/min dengan accelerasi maksimal 50 mm/s.



Gambar 4. 19 Tuning motor X dan Y axis

7. Tuning Motor Z axis

Motor Z memiliki sistem mekanik yang berbeda dengan sumbu X dan Y. Dikarenakan sumbu Z memiliki *leadscrew* dengan jumlah stars 2 maka jumlah pulsa yang dibutuhkan sebesar 800 pulsa/mm. Motor stepper sumbu Z memiliki kecepatan maksimal 300mm/min dengan accelerasi 24mm/detik.

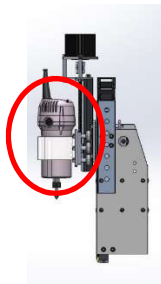


Gambar 4. 20 Tuning motor Z axis

4.4 Perhitungan Sistem Mekanik

4.4.1 Perencanaan Ulir Penggerak Sumbu Z

Ulir penggerak meja cnc kayu yang direncanakan dapat diperhitungkan dari beban sumbu Z. Pada sumbu z poros *lead screw* menerima beban dari komponen spindle, beban komponen spindle dapat diketahui dengan cara ditimbang, berat massa sebagai berikut;



Gambar 4. 21 Beban pada sumbu Z

Tabel 4. 4 Massa Komponen Spindle

No	Kuantitas	Nama	Massa (g)	Jumlah (g)
1	1	Motor Spindle	3.000	3.000
2	1	Plat	365	365
3	6	Roda dan baut	20	120
4	1	Nut Blok	30	30
Total				3.515

Keterangan :

$$1 \text{ Kgf} = 9,8 \text{ N} = 9,8 \text{ Kg.m/s}^2$$

$$\begin{aligned} W_z &= 3,515 \text{ Kg} \times 9,8 \text{ Kg} \\ &= 34,447 \text{ N} \end{aligned}$$

$$S_f = 2,5$$

$$\frac{F}{A} \leq \frac{\sigma_{yp}}{sf}$$

$$\frac{F}{\frac{1}{4} \pi d^2} \leq \frac{\sigma_{yp}}{sf}$$

$$d \geq \sqrt{\frac{4F \cdot sf}{\pi \sigma_{yp}}}$$

Ulir penggerak dibuat dari bahan *Stainles Steel* dengan $\sigma_{yp} = 215 \text{ N/mm}^2$, dengan beban 3,515 Kg. Setara dengan $3,515 \text{ Kg} = 3,515 \text{ Kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = 34,44 \text{ N}$

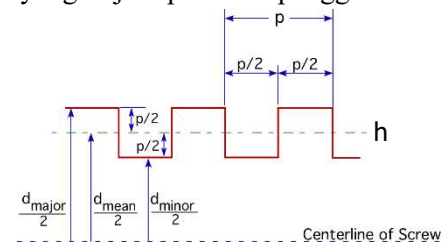
$$d \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 34,44 \text{ N} \cdot 2,5}{3,14 \cdot 215 \text{ N/mm}^2}}$$

$$d \geq \sqrt{\frac{344,4 \text{ N}}{675,1 \text{ N/mm}^2}}$$

$$d \geq 0,71 \text{ mm}$$

Dengan perhitungan diatas didapatkan diameter poros ulir adalah 0,7 mm. Untuk pembuatanya diameter yang digunakan adalah 10 mm, ini dikarenakan untuk mencari titik aman agar mesin mampu berkerja optimal.

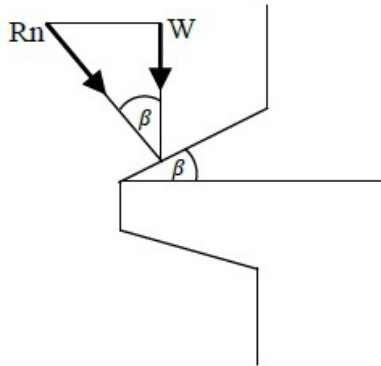
Pemilihan diameter 10 mm dapat dijadikan data awal untuk menghitung gaya yang terjadi pada ulir penggerak sumbu Z.



Gambar 4. 22 Dimensi square leadscrew

Diketahui :

Diameter luar ulir (d_{may})	= 10 mm	= 0,393 in
Diameter efektif ulir (d_{min})	= 7,5 mm	= 0,295 in
Beban kerja (W)	= 3,515Kg	= 7,749 lbf
Pitch	= 2 mm	= 0,078 in
Lebar kaki (b) P/2	= 1 mm	= 0,039 in
Lebar luasan h	= $\frac{d_{may}-d_{min}}{2}$	
	= $\frac{10 - 7,5}{2}$	
	= 1,25 mm	= 0,049 in



- Perhitungan gaya yang bekerja pada sumbu Z

$$R_n = \frac{W_z}{\cos \beta}$$

$$= \frac{34,447 \text{ N}}{\cos 30^\circ}$$

$$= 40 \text{ N}$$

- Sudut ulir (α)

$$\tan \alpha = \frac{n \cdot p}{\pi \cdot d_m}$$

$$= \frac{5 \cdot 2}{3,14 \cdot 7,5 \text{ mm}}$$

$$\tan \alpha = 0,42$$

$$\alpha = 22,78^\circ$$

- Koefisien gesek virtual

$$\mu_1 = \tan \theta = \frac{\mu}{\cos \beta}$$

$$\tan \theta = \frac{0,61}{\cos 30^\circ}$$

$$\tan \theta = 0,704$$

$$\theta = 35,16^\circ$$

- Gaya yang dibutuhkan untuk melawan gesekan

$$F = W \tan(\alpha + \theta)$$

$$F = W \left[\frac{\tan 22,78 + \tan \theta}{1 - \tan \alpha \cdot \tan \theta} \right]$$

$$F = 34,44 \text{ N} \left[\frac{\tan 22,78 + \tan 35,16}{1 - \tan 22,78 \cdot \tan 35,16} \right]$$

$$F = 34,44 \text{ N} \left[\frac{0,4 + 0,7}{1 - (0,4 \cdot 0,7)} \right]$$

$$F = 34,44 \text{ N} \left[\frac{1,1}{1 - (0,28)} \right]$$

$$F = 34,44 \text{ N} \left[\frac{1,1}{1 - (0,28)} \right]$$

$$F = 52,61 \text{ N}$$

- Torsi yang dibutuhkan untuk melawan gesekan

$$T = F \cdot \frac{dm}{2}$$

$$T = 52,61 \text{ N} \cdot \frac{7,5 \text{ mm}}{2}$$

$$T = 197,28 \text{ N/mm}$$

- Tegangan Bending

$$\sigma_b = \frac{3 \cdot W \cdot h}{(\pi \cdot d_r \cdot n) b^2}$$

$$\sigma_b = \frac{3 \cdot 7,749 \text{ lbf} \cdot 0,049 \text{ in}}{(3,14 \cdot 0,295 \text{ in} \cdot 5) 0,039 \text{ in}^2}$$

$$\sigma_b = 162,714 \text{ Psi}$$

$$\sigma_b = 1,121 \text{ N/mm}^2$$

- Tegangan geser maksimum pada ulir penggerak

$$\tau_{max} = \frac{3 \cdot W}{2 \cdot \pi \cdot d_r \cdot n \cdot b}$$

$$\tau_{max} = \frac{3 \cdot 7,749 lbf}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,295 in \cdot 5 \cdot 0,039 in}$$

$$\tau_{max} = 64,35 Psi$$

$$\tau_{max} = 0.443 N/mm^2$$

- Tegangan geser maksimum pada mur

$$\tau_{max} = \frac{3 \cdot W}{2 \cdot \pi \cdot d_0 \cdot n \cdot b}$$

$$\tau_{max} = \frac{3 \cdot 7,749 lbf}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,393 in \cdot 5 \cdot 0,039 in}$$

$$\tau_{max} = 48,303 Psi$$

$$\tau_{max} = 0,33 N/mm^2$$

- Tegangan tarik pada daerah kaki

$$\sigma_t = \frac{W}{\frac{\pi}{4} \left(\frac{dr + dp}{2} \right)^2}$$

$$\sigma_t = \frac{7,749 lbf}{\frac{3,14}{4} \left(\frac{0,393 in + 0,295 in}{2} \right)^2}$$

$$\sigma_t = \frac{7,749 lbf}{0,785 (0,344)^2}$$

$$\sigma_t = 84,228 Psi$$

$$\sigma_t = 0,58 N/mm^2$$

4.4.2 Perencanaan Ulir Penggerak Sumbu X

Tabel 4. 5 Massa Sumbu Z

No	Kuantitas	Nama	Massa (g)	Jumlah (g)
1	1	Motor Stepper	600	600
3	1	Lead Screw	60	60
5	1	Coupling	5.43	5.43
6	1	Alluminium Profile	180	180
7	12	Roda dan baut	20	240
8	2	Plat Z1	447	894
Total				1979.43

Keterangan :

$$1 \text{ Kgf} = 9,8 \text{ N} = 9,8 \text{ Kg.m/s}^2$$

$$W_x = W_z + W_{\text{spindle}}$$

$$= (1,979 \text{ Kg} + 3,515 \text{ Kg}) 9,8 \text{ Kg.m/s}^2$$

$$= 5,494 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ Kg.m/s}^2$$

$$= 53,85 \text{ N}$$

$$Sf = 2,5$$

Pada ulir sumbu x menopang sumbu z dan spindle sehingga mempunyai beban sumbu Z + Spindle = 1,979 Kg + 3,515 Kg = 5,494 Kg

$$\frac{F}{A} \leq \frac{\sigma_{yp}}{sf}$$

$$\frac{F}{\frac{1}{4} \pi d^2} \leq \frac{\sigma_{yp}}{sf}$$

$$d \geq \sqrt{\frac{4F \cdot sf}{\pi \sigma_{yp}}}$$

Ulir penggerak dibuat dari bahan *Stainles Steel* dengan $\sigma_{yp} = 215$ N/mm², dengan beban 5,494 Kg. Setara dengan 5,494 Kg = 5,494 Kg x 9,8 m/s² = 53,841 N

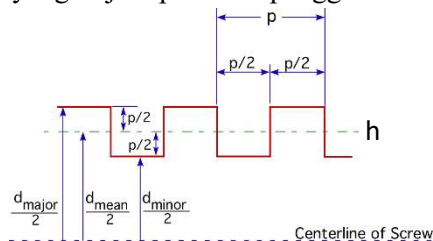
$$d \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 53,841 \text{ N} \cdot 2,5}{3,14 \cdot 215 \text{ N/mm}^2}}$$

$$d \geq \sqrt{\frac{538,41 \text{ N}}{675,1 \text{ N/mm}^2}}$$

$$d \geq 0,893 \text{ mm}$$

Dengan perhitungan diatas didapatkan diameter poros ulir adalah 0,893 mm. Untuk pembuatanya diameter yang digunakan adalah 10 mm, ini dikarenakan untuk mencari titik aman agar mesin mampu berkerja optimal.

Pemilihan diameter 10 mm dapat dijadikan data awal untuk menghitung gaya yang terjadi pada ulir penggerak sumbu X.



Gambar 4. 23 Dimensi square leadscrew

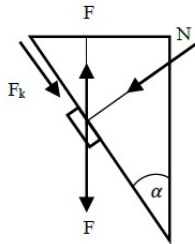
Diketahui :

Koefisien gesek (μ)	= 0,61	
Diameter luar ulir (d_{oma})	= 10 mm	= 0,393 in
Diameter efektif ulir (d_{min})	= 7,5 mm	= 0,295 in
Beban kerja (W_x)	= 5,494Kg	= 12,11 lbf
W_x	= 53,84 N	
Pitch	= 2 mm	= 0,078 in

$$\text{Lebar kaki (b) } P/2 = 1 \text{ mm} = 0,039 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} \text{Lebar luasan } h &= \frac{d_{\text{may}} - d_{\text{min}}}{2} \\ &= \frac{10 - 7,5}{2} \\ &= 1,25 \text{ mm} = 0,049 \text{ in} \end{aligned}$$

FBD



- Sudut Ulir (θ)

$$\tan \theta = \frac{n \cdot p}{\pi \cdot d}$$

$$\tan \theta = \frac{5 \cdot 2}{3,14 \times 10}$$

$$\tan \theta = \frac{5 \cdot 2}{3,14 \times 10}$$

$$\tan \theta = 0,318$$

$$\theta = 17,6^\circ$$

- Sudut geser (α)

Jumlah sudut segitiga adalah 180° maka,

$$180^\circ = \alpha + \theta + 90^\circ$$

$$\alpha = 180^\circ - (\theta + 90^\circ)$$

$$\alpha = 180^\circ - (17,6^\circ + 90^\circ)$$

$$\alpha = 72,4^\circ$$

- Perhitungan gaya gesek yang terjadi

$$F_k = \mu \cdot N$$

$$F_k = 0,61 \cdot 53,85 \text{ N}$$

$$F_k = 32,84 \text{ N}$$

Data yang telah dihitung dipergunakan untuk merencanakan gaya yang bekerja.

$$\rightarrow +\Sigma F_x = 0$$

$$F_k \sin \alpha - N \sin \alpha = 0$$

$$N = \frac{F_k \sin \alpha}{\sin \alpha}$$

$$\uparrow +\Sigma F_y = F - W - F_k \cos \alpha - N \cos \alpha = 0$$

$$F = W + F_k \cos \alpha + N \cos \alpha = 0$$

$$F = W + F_k \cos \alpha + \frac{F_k \sin \alpha}{\sin \alpha}$$

$$= 53,84 \text{ N} + 32,84 \cos 85,45^\circ + \frac{32,84 \sin 85,45^\circ}{\sin 85,45^\circ}$$

$$= 60,086 \text{ N}$$

Torsi yang digunakan untuk beban maju :

(Sumber : shigley and mischke, 2001)

$$T = \frac{F \cdot dm}{2} \left(\frac{l + \mu \cdot \pi \cdot dm}{\pi \cdot dm - \mu \cdot l} \right)$$

$$T = \frac{60,086 \text{ N} \cdot 7,5 \text{ mm}}{2} \left(\frac{10 \text{ mm} + 0,61 \cdot 7,5 \text{ mm}}{3,14 \cdot 7,5 \text{ mm} - 0,61 \cdot 10 \text{ mm}} \right)$$

$$T = 188,199 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$T = 0,188 \text{ Nm}$$

- Tegangan Bending

$$\sigma_b = \frac{3 \cdot W \cdot h}{(\pi \cdot d_r \cdot n) b^2}$$

$$\sigma_b = \frac{3 \cdot 12,11 \text{ lbf} \cdot 0,049 \text{ in}}{(3,14 \cdot 0,295 \text{ in} \cdot 5) 0,039 \text{ in}^2}$$

$$\sigma_b = 252,703 \text{ Psi}$$

$$\sigma_b = 1,74 \text{ N/mm}^2$$

- Tegangan geser maksimum pada ulir penggerak

$$\tau_{max} = \frac{3 \cdot W}{2 \cdot \pi \cdot d_r \cdot n \cdot b}$$

$$\tau_{max} = \frac{3 \cdot 12,11 \text{ lbf}}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,295 \text{ in} \cdot 5 \cdot 0,039 \text{ in}}$$

$$\tau_{max} = 100,56 \text{ Psi}$$

$$\tau_{max} = 0,69 \text{ N/mm}^2$$

- Tegangan geser maksimum pada mur

$$\tau_{max} = \frac{3 \cdot W}{2 \cdot \pi \cdot d_0 \cdot n \cdot b}$$

$$\tau_{max} = \frac{3 \cdot 12,11 \text{ lbf}}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,393 \text{ in} \cdot 5 \cdot 0,039 \text{ in}}$$

$$\tau_{max} = 75,48 \text{ Psi}$$

$$\tau_{max} = 0,52 \text{ N/mm}^2$$

- Tegangan tarik pada daerah kaki

$$\sigma_t = \frac{W}{\frac{\pi}{4} \left(\frac{dr + dp}{2} \right)^2}$$

$$\sigma_t = \frac{12,11 \text{ lbf}}{\frac{3.14}{4} \left(\frac{0,393 \text{ in} + 0,295 \text{ in}}{2} \right)^2}$$

$$\sigma_t = \frac{12,11 \text{ lbf}}{0,785 (0,344)^2}$$

$$\sigma_t = 130,36 \text{ Psi}$$

$$\sigma_t = 0,89 \text{ N/mm}^2$$

Tabel 4. 6 Massa Sumbu X dan Y

No	Kuantitas	Nama	Massa (g)	Jumlah (g)
1	1	Rel Kabel	1200	1200
2	1	Plat 1	26	26
3	1	Plat 2	142	142
4	1	Penguat	750	750
5	3	Alluminium Profile	550	1650
7	1	Cable Carier	800	800
8	1	Lead Screw	210	210
9	1	Coupling	5.43	5.43
10	2	Nut Block	30	60
11	12	Roda dan Baut	20	240
12	1	Motor Stepper	600	600
Total				5683.43

Tabel 4. 7 Massa Table

No	Kuantitas	Nama	Massa (g)	Jumlah (g)
1	1	Kerangka	8560	8560
2	1	Table kayu	7480	7480
3	2	Alluminium Profile	560	1120
4	2	Alluminium Profile Y	740	1480
5	4	Plat X	362	1448
6	1	Rel Kabel	800	800
7	1	Carier Kabel	900	900
8	1	Motor Stepper	600	600
9	1	Lead Screw	197	197
10	4	Kaki Meja	40	160
Total				22745

Tabel 4. 8 Massa Total

No	Nama	Massa (g)
1	Spindle	3515
2	Sumbu Z	1979.43
3	Sumbu X dan Y	5683.43
4	Table	22745
Total		33922.86

4.4.3 Perencanaan Daya Motor

Untuk merancang meja mesin CNC Kayu ini perlu adanya perencanaan daya motor yang diperlukan agar sesuai dengan kebutuhan. Perencanaan yang diinginkan untuk mengetahui daya motor dan torsi yang dibutuhkan pada setiap axisnya.

- Mencari jumlah pulsa/mm sumbu X dan Y

Diketahui :

Step motor = 200 pulsa/putaran
 Pembagian pulsa driver X dan Y = 1/8
 Pembagian pulsa driver Z = 1/16
 Pith (p) = 2mm
 n (sumbu x dan y) = 5 stars
 n (sumbu Z) = 2 stars
 jumlah step setiap satu putaran

$$Step = \frac{200 \text{ pulsa}}{\frac{1}{8}}$$

$$Np = 1600 \text{ pulsa/putaran}$$

Jarak Lead (L) putaran penuh

$$L = n.p$$

$$L = 2\text{mm} \times 5 \text{ stars}$$

$$L = 10 \text{ mm}$$

Jumlah pulsa tiap mm

$$= \frac{1600 \text{ pulsa}}{10 \text{ mm}}$$

$$= 160 \text{ pulsa/mm}$$

- Mencari jumlah pulsa/mm sumbu Z
jumlah step setiap satu putaran

$$Step = \frac{200 \text{ pulsa}}{\frac{1}{16}}$$

$$Step = 3200 \text{ pulsa/putaran}$$

Jarak Lead (L) putaran penuh

$$L = n.p$$

$$L = 2\text{mm} \times 2 \text{ stars}$$

$$L = 4 \text{ mm}$$

Jumlah pulsa tiap mm

$$= \frac{3200 \text{ pulsa}}{4 \text{ mm}}$$

$$= 800$$

- Mencari kecepatan putaran motor (rpm) maksimal

Sumbu X dan Y:

Diketahui :

$$\begin{aligned} V_{\max} &= 3 \text{ m/min (dari tuning software Mach3)} \\ \text{Step} &= 160 \text{ pulsa/mm} \\ \text{Jumlah pulsa/min} &= V_{\max} \cdot \text{Step} \\ &= 3000 \text{ m/min} \times 160 \text{ pulsa/mm} \\ &= 480.000 \text{ pulsa/min} \\ P_{ps} &= 480.000 \text{ pulsa/min} \times 1/60 \text{ detik} \\ &= 8000 \text{ pulsa/detik} \\ N_p &= 1600 \text{ pulsa/putaran} \end{aligned}$$

$$n = 60 \frac{P_{ps}}{N_p}$$

$$n = 60 \frac{8.000}{1.600}$$

$$n = 300 \text{ rpm}$$

Keterangan :

$$\begin{aligned} n &= \text{Kecepatan putar motor (rpm)} \\ P_{ps} &= \text{Kecepatan pulsa masuk (pulsa/detik)} \\ N_p &= \text{Banyaknya pulsa satu kali putar (pulsa/rotasi)} \end{aligned}$$

Dengan demikian didapatkan ketelitian motor yang direncanakan :

$$\sigma = ^\circ / \text{pulsa}$$

$$\sigma = \frac{1}{N_p} \times 360^\circ$$

$$\sigma = \frac{1}{1600} \times 360^\circ$$

$$\sigma = 0.225^\circ/\text{pulsa}$$

4.4.4 Perencanaan Daya Motor Pada Sumbu X

Torsi yang dibutuhkan motor untuk menggerakkan sumbu X yaitu :

$$\begin{aligned} F &= m \cdot g \\ F &= 5,494 \text{ kg} \cdot 9.8 \text{ m/s}^2 \\ F &= 53,85 \text{ kg.m/s}^2 \text{ (N)} \dots\dots\dots (1) \end{aligned}$$

Subtitusikan persamaan (1) ke,

$$\begin{aligned} T &= F \cdot r \\ T &= 53,85 \text{ N} \cdot 0,003 \text{ m} \\ T &= 0,16 \text{ N.m} \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

Keterangan :

- F = Gaya yang direncanakan pada sumbu X (N)
- T = Torsi yang direncanakan pada motor (N.m)
- r = Jari-jari poros penggerak yaitu 3 mm = 0,003 (m)

Sedangkan untuk daya yang dibutuhkan pada motor stepper adalah:

Dengan menghitung kecepatan sudut (ω) terlebih dahulu,

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{2\pi n}{60} \\ \omega &= \frac{2\pi \cdot 300}{60} \\ \omega &= 31,4 \text{ rad/detik} \end{aligned}$$

Sehingga dapat ditentukan daya motor yang dibutuhkan pada sumbu X :

$$\begin{aligned} P &= T \cdot \omega \\ P &= 0,16 \text{ N.m} \cdot 31,4 \text{ rad/detik} \\ P &= 5,07 \text{ watt} \end{aligned}$$

Keterangan :

P = Daya motor yang dibutuhkan direncanakan (Watt)

4.4.5 Perencanaan Daya Motor Pada Sumbu Y

Motor pada sumbu Y dikenai beban Spindle, sumbu X dan sumbu Z. Jumlah massa yang diterima oleh sumbu y adalah :

$$m_y = 3,515 \text{ Kg} + 1,979 \text{ Kg} + 5,683 \text{ Kg}$$

$$m_y = 11,177 \text{ Kg}$$

Torsi yang dibutuhkan motor untuk menggerakkan sumbu Y yaitu :

$$F = m \cdot g$$

$$F = 11,117 \text{ kg} \cdot 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$F = 109,53 \text{ kg.m/s}^2 \text{ (N)} \dots\dots\dots (1)$$

Subtitusikan persamaan (1) ke,

$$T = F \cdot r$$

$$T = 109,53 \text{ N} \cdot 0,003 \text{ m}$$

$$T = 0,328 \text{ N.m} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

F = Gaya yang direncanakan pada sumbu X (N)

T = Torsi yang direncanakan pada motor (N.m)

r = Jari-jari poros penggerak yaitu 3 mm = 0,003 (m)

Sedangkan untuk daya yang dibutuhkan pada motor stepper adalah:

Dengan menghitung kecepatan sudut (ω) terlebih dahulu,

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

$$\omega = \frac{2\pi \cdot 300}{60}$$

$$\omega = 31,4 \text{ rad/detik}$$

Sehingga dapat ditentukan daya motor yang dibutuhkan pada sumbu X :

$$P = T \cdot \omega$$

$$P = 0,328 \text{ N.m} \cdot 31,4 \text{ rad/detik}$$

$$P = 10,31 \text{ watt}$$

Keterangan :

P = Daya motor yang dibutuhkan direncanakan (Watt)

4.4.6 Perencanaan Daya Motor Pada Sumbu Z

Pada sumbu Z beban yang ditumpu adalah spindle sebesar : 3,515 Kg. Torsi yang dibutuhkan motor untuk menggerakkan sumbu Z yaitu :

$$F = m \cdot g$$

$$F = 3,515 \text{ kg} \cdot 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$F = 34,447 \text{ kg.m/s}^2 \text{ (N)} \dots\dots\dots (1)$$

Subtitusikan persamaan (1) ke,

$$T = F \cdot r$$

$$T = 34,447 \text{ N} \cdot 0,003 \text{ m}$$

$$T = 0,1 \text{ N.m} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

F = Gaya yang direncanakan pada sumbu X (N)

T = Torsi yang direncanakan pada motor (N.m)

r = Jari-jari poros penggerak yaitu 3 mm = 0,003 (m)

Sedangkan untuk daya yang dibutuhkan pada motor stepper adalah:

Dengan menghitung kecepatan sudut (ω) terlebih dahulu,

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

$$\omega = \frac{2\pi \cdot 300}{60}$$

$$\omega = 31,4 \text{ rad/detik}$$

Sehingga dapat ditentukan daya motor yang dibutuhkan pada sumbu X :

$$P = T \cdot \omega$$

$$P = 0,1 \text{ N.m} \cdot 31,4 \text{ rad/detik}$$

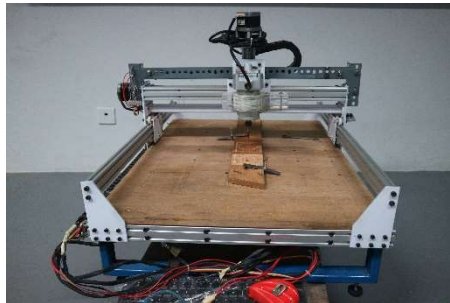
$$P = 3,14 \text{ watt}$$

Keterangan :

P = Daya motor yang dibutuhkan direncanakan (Watt)

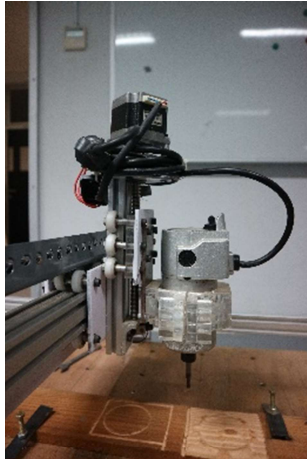
4.5 Realisasi Alat dan Hasil Mekanikal

Setelah dilakukan desain, pemilihan komponen dan perhitungan untuk mencari kebutuhan motor pada bab ini akan membahas hasil alat yang telah di buat

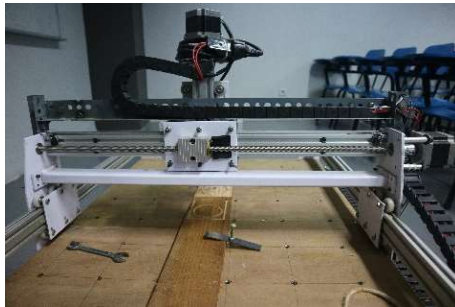


Gambar 4. 24 Realisasi alat

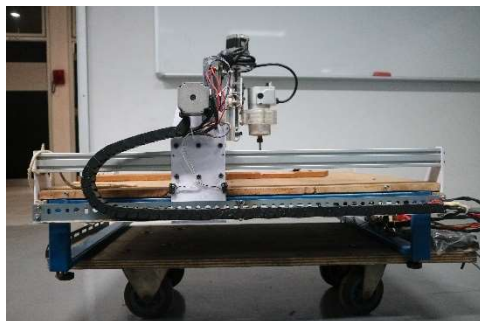
Motor Spindle menggunakan motor router yang menggunakan arus AC dengan kecepatan motor 30.000 rpm. Biasanya motor ini digunakan untuk perautan kayu karena mempunyai putaran yang tinggi. Peletakan benda kerja menggunakan papan dan penguncian benda kerja menggunakan baut M6.



Gambar 4. 25 Spindle dan Sumbu Z



Gambar 4. 26 Sumbu X



Gambar 4. 27 Sumbu Y

4.6 Hasil Analisa

4.6.1 Pengujian alat

Dari mesin cnc kayu yang telah di uji diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 4. 9 Pengujian

No			
1	Massa Total	33.922	Kg
2	Sumbu X	400	mm
3	Sumbu Y	500	mm
4	Sumbu Z	100	mm

4.6.2 Sistem Gerak Sumbu X

a. Pengujian Sistem Mekanik Meja

Pada sumbu X ini menopang sumbu Z diatasnya. Sumbu X digerakkan dengan motor *stepper* dan ulir penggerak M10 x 2. Sumbu X ini hanya dapat digerakkan maksimal dengan panjang 400mm. Dari pergerakan ini dilakukan uji coba hasil gerakanya. Dalam uji coba ini dilakukan pengujian ketelitian dari ulir penggerak. dengan memutar ulir secara manual (dengan tangan). Uji coba ini dilakukan pada 1 titik ulir penggerak dengan memutar ulir penggerak masing-masing sebanyak 5 kali putaran. Dengan 5 kali putaran maka didapat jarak sebesar :

$$\begin{aligned}5 \times pitch \times Stars &= 5 \times 2\text{mm} \times 5 \\ &= 50\text{mm}\end{aligned}$$

Dengan ini maka jarak yang diinginkan setiap 5 kali putaran sebesar 50mm.

Dalam hal ini, uji coba yang dilakukan adalah gerak dari sumbu X tanpa menggunakan motor karena untuk mengetahui terlebih dahulu ketelitian yang didapat tiap titik ulir penggerak.

b. Pengujian Sistem Gerak Sumbu X

Tabel 4. 10 Pengujian sistem gerak sumbu X

No	Eksperimen	Jarak yang diinginkan (mm)	Jarak sebenarnya (mm)	Backlash (mm)
1	Titik X- ke X+	50	49.56	0.44
2	Titik X+ ke X-	50	49.6	0.4
3	Titik X- ke X+	50	49.59	0.41
4	Titik X+ ke X-	50	49.8	0.2
Rata-rata <i>backlash</i>				0.3625

Pada hal ini didapatkan rata-rata *backlash* sebesar 0,36 mm. Dengan besar nilai *backlash* didapat jeda untuk pergerakannya sebesar nilai tersebut sehingga mempengaruhi ketelitian alat tersebut. Ini dinyatakan karena hal-hal seperti ketidak presisian kisar (*pitch*) pada ulir penggerak ataupun antara baut ulir penggerak dengan murnya terdapat jarak kerenggangan sebesar nilai tersebut. Selain itu juga disebabkan karena penghubung poros penggerak dengan ulir penggerak masih menggunakan *flexible coupling* yang masih punya kelenturan pada saat berputar.



Gambar 4. 28 Pemakanan Lurus

4.6.3 Sistem Gerak sumbu Y

a. Pengujian Sistem Mekanik Meja

Pada sumbu Y ini menopang sumbu X dan Z di atasnya. Sumbu Y digerakkan dengan motor *stepper* dan ulir penggerak M10 x 2. Sumbu Y ini hanya dapat digerakkan maksimal dengan panjang 500 mm. Dari pergerakan ini dilakukan uji coba hasil gerakannya. Dalam uji coba ini dilakukan pengujian ketelitian dari ulir penggerak. dengan memutar ulir secara manual (dengan tangan). Uji coba ini dilakukan pada 1 titik ulir penggerak dengan memutar ulir penggerak masing-masing sebanyak 5 kali putaran. Dengan 5 kali putaran maka didapat jarak sebesar :

$$5 \times \text{pitch} \times \text{Stars} = 5 \times 2\text{mm} \times 5 \\ = 50\text{mm}$$

Dengan ini maka jarak yang diinginkan setiap 5 kali putaran sebesar 50mm.

Dalam hal ini, uji coba yang dilakukan adalah gerak dari sumbu Y tanpa menggunakan motor karena untuk mengetahui terlebih dahulu ketelitian yang didapat tiap titik ulir penggerak.

b. Pengujian Sistem Gerak Sumbu Y

Tabel 4. 11 Pengujian sistem gerak sumbu Y

No	Eksperimen	Jarak yang diinginkan (mm)	Jarak sebenarnya (mm)	Backlash (mm)
1	Titik Y- ke Y+	50	49.8	0.2
2	Titik Y+ ke Y-	50	49.62	0.38
3	Titik Y- ke Y+	50	49.7	0.3
4	Titik Y+ ke Y-	50	49.7	0.3
Rata-rata <i>backlash</i>				0.295

Pada hal ini didapatkan rata-rat *backlash* sebesar 0,29 mm. Dengan besar nilai *backlash* didapat jeda untuk pergerakannya sebesar nilai tersebut sehingga mempengaruhi ketelitian alat tersebut. Ini dinyatakan karena hal-hal seperti ketidak presisian kisar (*pitch*) pada ulir penggerak ataupun antara baut ulir penggerak dengan murnya terdapat jarak kerenggangan sebesar nilai tersebut. Selain itu juga disebabkan karena penghubung poros penggerak dengan ulir penggerak masih menggunakan *fleksible coupling* yang masih punya kelenturan pada saat berputar.

4.6.4 Sistem Gerak Sumbu Z

a. Pengujian Sistem Mekanik Meja

Pada sumbu Z ini menopang *spindle* diatasnya. Sumbu Y digerakkan dengan motor *stepper* dan ulir penggerak M10 x 2. Sumbu Z ini hanya dapat digerakkan maksimal dengan panjang 200 mm. Dari pergerakan ini

dilakukan uji coba hasil gerakannya. Dalam uji coba ini dilakukan pengujian ketelitian dari ulir penggerak. dengan memutar ulir secara manual (dengan tangan). Uji coba ini dilakukan pada 1 titik ulir penggerak dengan memutar ulir penggerak masing-masing sebanyak 5 kali putaran. Dengan 5 kali putaran maka didapat jarak sebesar :

$$5 \times \text{pitch} \times \text{Stars} = 5 \times 2\text{mm} \times 2 \\ = 20\text{mm}$$

Dengan ini maka jarak yang diinginkan setiap 5 kali putaran sebesar 20mm.

Dalam hal ini, uji coba yang dilakukan adalah gerak dari sumbu Z tanpa menggunakan motor karena untuk mengetahui terlebih dahulu ketelitian yang didapat tiap titik ulir penggerak.

b. Pengujian Sistem Gerak Sumbu Z

Tabel 4. 12 Pengujian sistem gerak sumbu Z

No	Eksperimen	Jarak yang diinginkan (mm)	Jarak sebenarnya (mm)	Backlash (mm)
1	Titik Z- ke Z+	50	49.8	0.2
2	Titik Z+ ke Z-	50	49.9	0.1
3	Titik Z- ke Z+	50	49.85	0.15
4	Titik Z+ ke Z-	50	49.82	0.18
Rata-rata <i>backlash</i>				0.1575

Pada hal ini didapatkan rata-rat *backlash* sebesar 0,15 mm. Dengan besar nilai *backlash* didapat jeda untuk pergerakannya sebesar nilai tersebut sehingga mempengaruhi ketelitian alat tersebut. Ini dinyatakan karena hal-hal seperti ketidak presisian kisar (*pitch*) pada ulir penggerak ataupun antara baut ulir penggerak dengan murnya terdapat jarak kerenggangan sebesar nilai tersebut.

Selain itu juga disebabkan karena penghubung poros penggerak dengan ulir penggerak masih menggunakan *fleksible coupling* yang masih punya kelenturan pada saat berputar.

4.6.5 Sistem gerak melingkar

Percobaan menggunakan program MDI untuk membuat lingkaran adalah sebagai berikut:

G91

M3

G2 R30. X-60. F400

G2 R30. X60.

M5

Pada program lingkaran yang akan dibuat mempunyai diameter 60mm, ternyata pada pengujian menghasilkan gerak yang mempunyai diameter 59,5 mm. Jadi selisih dari program sebanyak 0,5 mm.



Gambar 4. 29 Pengukuran menggunakan jangka sorong



Gambar 4. 30 Pemakanan dengan pola

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari Tugas Akhir dengan judul “Rancang Bangun Mesin Woodworking CNC Machine (WCM) 3 Axis (X,Y dan Z) Menggunakan Motor Stepper Mach3 PC Base” ini adalah:

1. Mesin yang telah dibuat mampu melakukan permesinan pada kayu dengan dimensi 500mm x 400mm x 100mm. Dengan kepresisian yang cukup rata-rata *backlash* pada sumbu X = 0,36mm pada sumbu Y = 0,29mm dan sumbu Z = 0,15mm. Rata-rata total adalah 0,26mm.
2. Bahwa sistem kontroller menggunakan *software* Mach3 mempunyai respon yang cepat, konfigurasi mudah karena ada fitur *auto tuning* pada tiap axis untuk menentukan kepresisian jarak. Dengan menggunakan *software* Mach3 tidak memerlukan banyak biaya.

5.2 Saran

Dalam merencanakan sebuah alat produksi, ada beberapa hal yang perlu dicermati adalah :

1. Agar hasil benda kerja maksimal maka perlu kepresisian sebuah mesin dengan cara mengatur *alignment* dan menggunakan part yang lebih bagus.
2. Perlu menggunakan motor Servo AC agar torsi, kecepatan dan kepresisian dapat ditingkatkan.
3. Perlu penambahan fitur MPG (*Manual Pulse Generator*) agar lebih mudah untuk menentukan titik nol benda kerja.
4. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai CNC kayu agar kedepannya alat mampu bergerak 5 axis.

.....(*halaman ini sengaja dikosongkan*)....

DAFTAR PUSTAKA

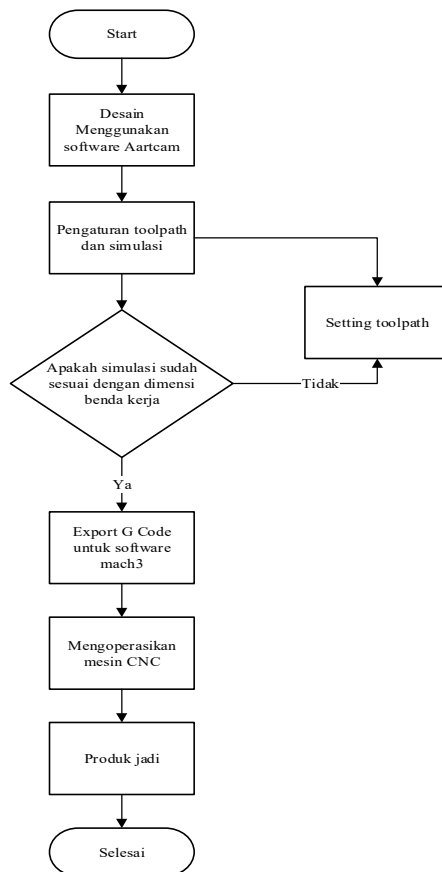
1. Sularso, Suga, Kiyokatsu. 1991. *Dasar Perencanaan dan Elemen Mesin dan Pemilihan Elemen Mesin 10th Edition*. Jakarta : PT. Pradnya Paramita.
2. Suhariyanto, **Diktat Elemen Mesin**, D3 Teknik Mesin, FTI-ITS, 2007
3. Mott Robert L : **Machine Elements in Mechanical Design**, fourth edition, Pearson Prentice Hall, New Jersey, 2004.
4. Joseph E. Shigley & Charles R. Mischke, 2001. *Mechanical Engineering Design*. McGraw-Hill.

Lampiran 1

Standar Operasional Prosedur

Pada bab ini akan membahas bagaimana cara penggunaan mesin cnc kayu dari proses desain CAD CAM sampai melakukan pemesinan.

Diagram Alir SOP



Gambar 1. Diagram Alir SOP

Penggunaan suatu mesin harus sesuai SOP dengan tujuan untuk merawat mesin dan menjaganya agar tidak mudah rusak.

5. Desain menggunakan software artcam

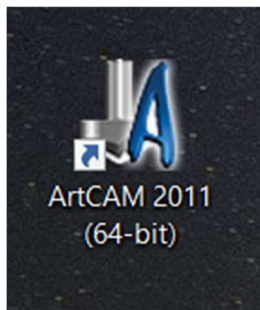
Desain yang digunakan selain *mastercam* yang digunakan adalah *artcam* yaitu *software* yang digunakan untuk desain dan memprogram mesin cnc untuk membuat barang. Mesin ini membuat barang dengan cara mengikis material secara bertahap sampai barang terbentuk. Seperti yang dilakukan tukang pahat patung yang melakukan pengurangan bahan secara bertahap sampai terbentuk patung, hanya saja mesin CNC itu adalah pengganti tukang pahatnya.

Untuk percobaan yang dilakukan adalah mendesain logo ITS. Artcam yang digunakan bisa mengimport gambar 2D atau 3D dalam format:

- a. 2D bitmap dengan format ekstensi jpg,gif,bmp,pcx,tif.
- b. 2D vector dengan format ekstensi dxf atau dwg.
- c. 3D model dengan format ekstensi stl,dmt,dxf,3da,3dp,3ds.
- d. Delcam files dengan format ekstensi pic atau dgk.

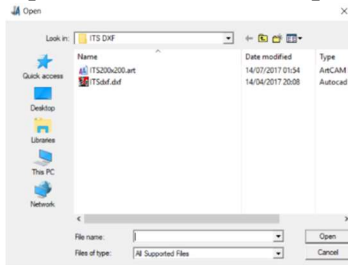
Model yang akan di import kali ini adalah gambar berekstensi *.dxf.

- a. Buka dulu ArtCAM Pro 2011 dengan mendobel klik ikonnya pada desktop sehingga tampilah jendela ArtCAM.



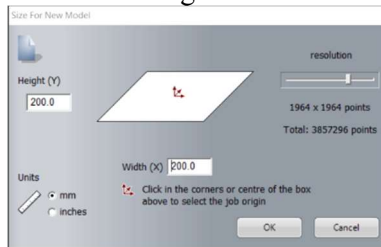
Gambar 2. Icon Artcam

- b. Buka file .dxf yang kita punya dan tentukan dimensi yang akan dilakukan pemahatan. Klik **file > open>namafile**



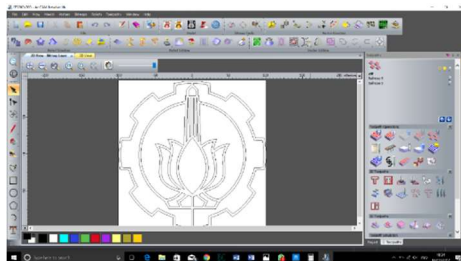
Gambar 3. Open File dxf

- c. Selanjutnya akan muncul kotak dialog untuk mengatur ukuran benda yang akan kita buat, atur dimensi width=200mm dan height=200mm. Lalu klik OK.

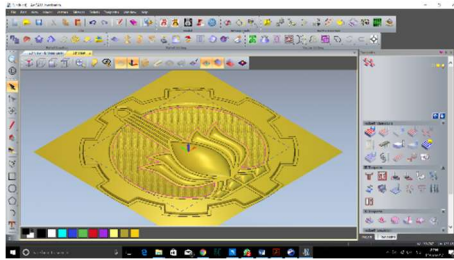


Gambar 4. Dimensi ukuran benda kerja

- d. Desain 3D menggunakan fitur shape editor dan lakukan pada tiap bidang.



Gambar 5. Tampilan desain 2D



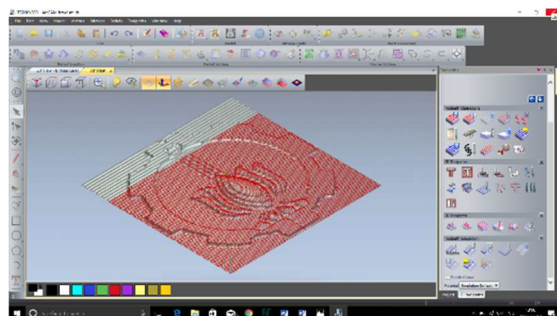
Gambar 6. Tampilan desain 3D

6. Pengaturan toolpath dan simulasi

Atur tool yang digunakan untuk pemessinan dan sesuaikan dengan dimensi dan kemampuan pahat untuk meraut.



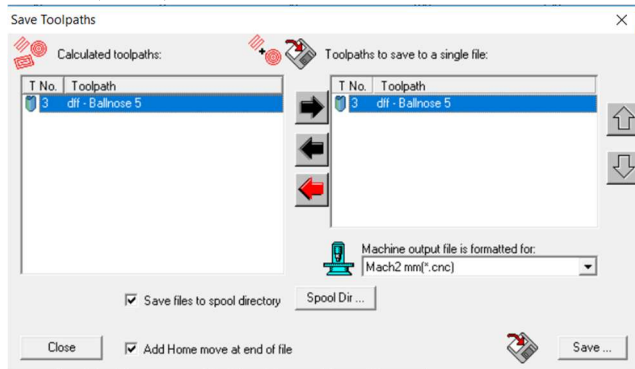
Gambar 7. Pengaturan Tool



Gambar 8. Simulasi toolpath

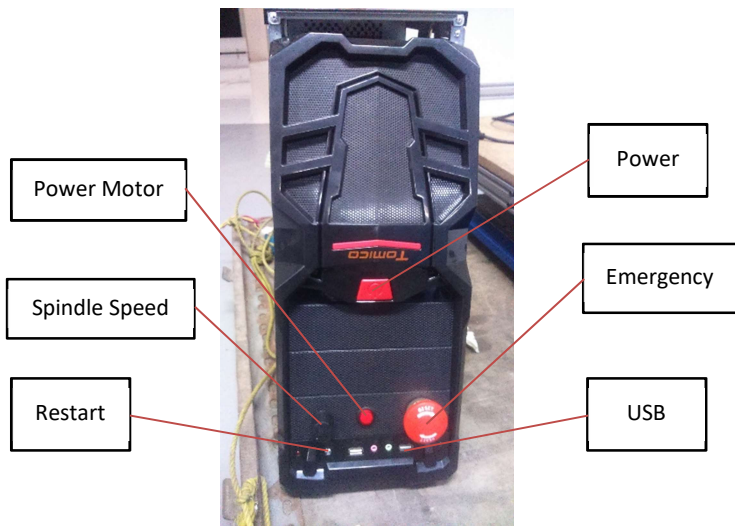
7. Export G Code untuk *software Mach3*

Setiap mesin memiliki format kode yang berbeda-beda, untuk *software Mach3* format mesin yang digunakan adalah Mach2mm(*.cnc).



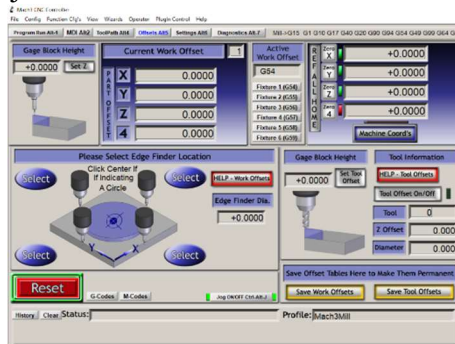
Gambar 9. Export G Code

8. Mengoperasikan mesin CNC



Gambar 10. Tampilan panel kontrol mesin

- Nyalakan mesin dengan menekan tombol power pada panel
- Buka *Software Mach3*
- Nyalakan tombol power motor berwarna merah
- Buka tombol *emergency* dengan cara memutar tombol ke kanan
- Klik icon Home untuk mendapatkan koordinat mesin awal *Machine Zero Point (MZIP)*
- Atur posisi *Work Zero Point (WZP)* sesuai posisi desain pada menu offsets atur semua posisi x,y dan z pada benda kerja.



Gambar 11. Tampilan menu offsets setting

- Jalankan program pada menu *program run* dan klik *Cycle start*.

9. Produk jadi



Gambar 12. Proses Perautan



Gambar 13. Hasil Perautan



Gambar 14. Hasil Perautan

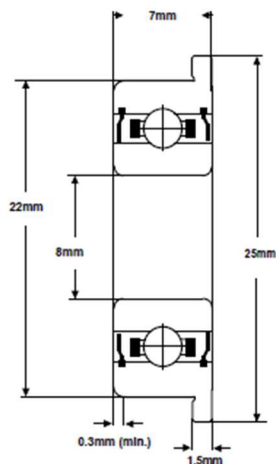
SMB Bearings

Radial Ball Bearing

Part Number: F608ZZ



(representation only)



Material (rings & balls)	SAE52100 chrome steel
Material (cage)	pressed steel
Closures	Metal shields
Load rating (stat)	136 Kgf
Load rating (dyn)	327 Kgf
Speed Limit *	34,000 rpm
Standard Lubrication **	Kyodo Yushi Multemp SRL grease

* with adequate lubrication

** may vary

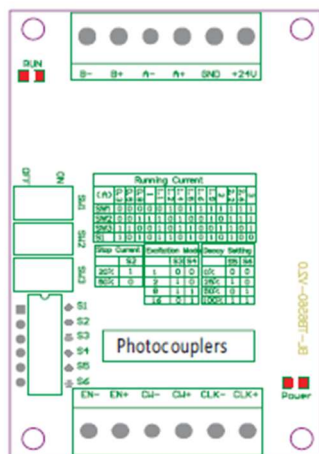
These bearings comply with EU ROHS and REACH regulations.

RADIAL PLAY	MC1	MC2	MC3	MC4	MC5	MC6
(microns)	0 - 5	3 - 8	5 - 10	8 - 13	13 - 20	20 - 28

TOLERANCE	P0	P6	P5
Bore Deviation	+0 / -0.008mm	+0 / -0.007mm	+0 / -0.005mm
OD Deviation	+0 / -0.009mm	+0 / -0.008mm	+0 / -0.006mm
Width Deviation	+0 / -0.120mm	+0 / -0.120mm	+0 / -0.040mm
Single Bore Variation	10	9	5
Single OD Variation	12	10	6
Inner Width Variation	15	15	5
Outer Width Variation	15	15	5
Inner Radial Runout	10	6	4
Outer Radial Runout	15	9	6
Flange OD Deviation	+0.125/-0.05mm	+0.125/-0.05mm	+0 / -0.025mm
Fl. Width Deviation	+0 / -0.05mm	+0 / -0.05mm	+0 / -0.05mm

SMB Bearings take no responsibility for any errors or omissions in this data sheet. We reserve the right to change specifications without prior notice. We recommend that adequate testing is carried out on products before they are determined as suitable for an application.

Tb6560 stepping motor driver V20



Warning:

1. Check the connection twice! The Tb6560 chipset can be damaged if the motor or the power supply are not connected properly.
2. Don't apply a motor that its rated current is more than 3A to this driver.
3. Do not set the current more than the motor rated current!

Wiring Terminal symbol	Description
+24V, GND	Power positive and negative
A+, A-	Motor phase A
B+, B-	Motor phase B
CLK+, CLK-	Pulse positive and negative
CW+, CW-	Direction positive and negative
EN+, EN-	Enable positive and negative

Note:

1. 6 input terminals, can be connected as common anode or cathode.
2. The normal input voltage is 5V, if it is more than 5V, than a series resistor is needed. this resistance is 1K case 12V and 2.4K case 24V.
3. when pulse is applied to **CLK**, the stepping motor will rotate, and stop when there is none, and the motor driver will change its current to the half current mode as setting to hold the motor still.
4. Motor rotate clockwise when **CW** is low level and counterclockwise when **CW** is high level.
5. Motor is enable when **EN** is low level and disable when **EN** is high level.

Running Current														
(A)	0.3	0.5	0.8	1	1.1	1.2	1.4	1.5	1.6	1.9	2	2.2	2.6	3
SW1	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON
SW2	OFF	OFF	ON	ON	ON	OFF	ON	OFF	OFF	ON	OFF	ON	ON	ON
SW3	ON	ON	OFF	OFF	ON	OFF	ON	ON	OFF	OFF	ON	ON	OFF	ON
S1	ON	OFF	ON	OFF	ON	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	OFF

Stop Current	
	S2
20%	ON
50%	OFF

Excitation Mode		
Step	S3	S4
whole	OFF	OFF
half	ON	OFF
1/8	ON	ON
1/16	OFF	ON

Decay Setting		
	S5	S6
0%	OFF	OFF
25%	ON	OFF
50%	OFF	ON
100%	ON	ON

Quick Reference NEMA size 23 1.8°
2-phase stepper motor



Schneider Electric

Notes and Warnings

Installation, configuration and maintenance must be carried out by qualified technicians only. You must have detailed information to be able to carry out this work.

- Unexpected dangers may be encountered when working with this product
- Incorrect use may destroy this product and connected component(s)

For more information, go to www.linhome.com

Specifications

3.0 Amp motors	Single length	Double length	Triple length
Part number	M-2218-2.4S (1)	M-2232-2.4S (1)	M-2251-2.4S (1)
Holding torque	2N·m	164	238
Detent torque	2N·m	54	102
Rotor inertia	2N·m	3.9	5.8
Weight	2N·m	2.7	5.9
Phase current	3.0	3.0	3.0
Phase resistance	0.05	0.05	0.05
Phase inductance	1.8	2.4	3.4

(1) Only available with single shaft

3.0 Amp motors	Single length	Double length	Triple length
Part number	M-2218-3.0S (1)	M-2232-3.0S (1)	M-2251-3.0S (1)
Holding torque	2N·m	164	238
Detent torque	2N·m	54	102
Rotor inertia	2N·m	3.9	5.8
Weight	2N·m	2.7	5.9
Phase current	3.0	3.0	3.0
Phase resistance	0.05	0.05	0.05
Phase inductance	1.8	2.4	3.4

(1) Indicate S for single shaft or D for double shaft. Example M-2218-3.0S

6.0 Amp motors	Single length	Double length	Triple length
Part number	M-2218-6.0S (1)	M-2232-6.0S (1)	M-2251-6.0S (1)
Holding torque	2N·m	100	161
Detent torque	2N·m	31	51
Rotor inertia	2N·m	1.4	2.1
Weight	2N·m	0.9	1.4
Phase current	6.0	6.0	6.0
Phase resistance	0.15	0.15	0.15
Phase inductance	0.47	0.73	1.04

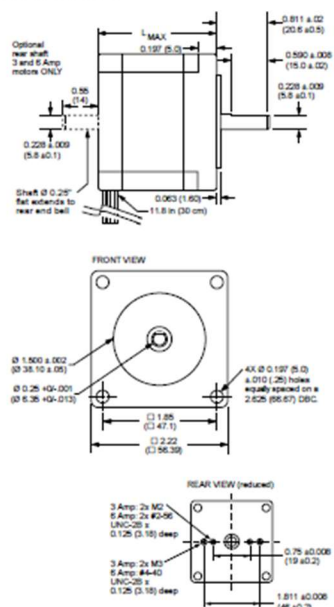
(1) Indicate S for single shaft or D for double shaft. Example M-2218-6.0S

Wiring and Connections

Signals and wire colors	2.4 Amp motors	3.0 Amp motors	6.0 Amp motors
Phase A	Red	Red	Black
Phase B	White/red	White/red	Orange
Phase C	Green	Green	Red
Phase D	White/green	White/green	Yellow

Mechanical Specifications

Dimensions in inches (mm)



Motor stack length inches (mm)	2.4 Amp motors	3.0 Amp motors	6.0 Amp motors
Single	1.77 (45)	1.77 (45)	1.75 (44.5)
Double	2.13 (54)	2.13 (54)	2.2 (56)
Triple	2.96 (76)	2.96 (76)	3.06 (78.5)

Part Numbers

Example:	M - 2 2 1 8 - 2 . 4 S
Stepper motor frame size	M - 2 2 1 8 - 2 . 4 S
M-22 = NEMA 23 (2.3" / 57 mm)	
Motor length	M - 2 2 1 8 - 2 . 4 S
18 = single stack	
22 = double stack	
31 = triple stack	
Phase current	M - 2 2 1 8 - 2 . 4 S
2.4 = 2.4 Amps (1)	
3.0 = 3.0 Amps	
6.0 = 6.0 Amps	
Shaft	M - 2 2 1 8 - 2 . 4 S
S = single, front shaft only	
D = double, front and rear shafts	
Optional optical encoder (2)	M - 2 2 1 8 - 2 . 4 S E 1 0 0
ES = Single-end	
ED = Differential	
Line count	
100, 200, 250, 400, 500 or 1000 (3)	

(1) Only available with single shaft.
(2) An encoder replaces the shaft designator in the part number.
(3) All encoders have an index mark, except the 1000 line count version.

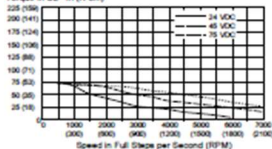
Torque-speed Performance

Measured at the rated phase current of the motor (RMS)

2.4 Amp motors

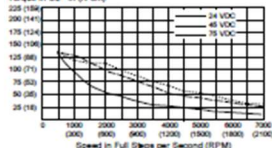
M-2218-2.4

Torque in Oz - In (N·cm)



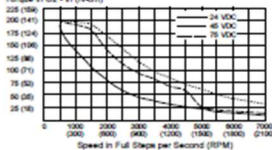
M-2222-2.4

Torque in Oz - In (N·cm)



M-2231-2.4

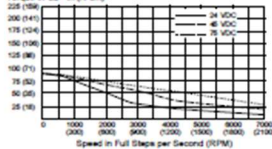
Torque in Oz - In (N·cm)



3.0 Amp motors

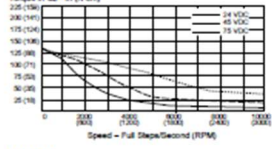
M-2218-3.0

Torque in Oz - In (N·cm)



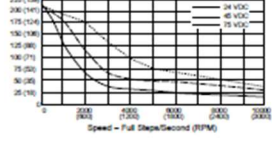
M-2222-3.0

Torque in Oz - In (N·cm)



M-2231-3.0

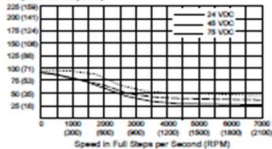
Torque in Oz - In (N·cm)



6.0 Amp motors

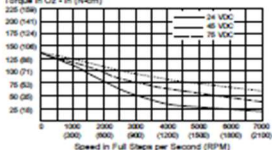
M-2218-6.0

Torque in Oz - In (N·cm)



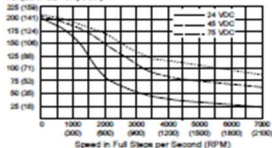
M-2222-6.0

Torque in Oz - In (N·cm)



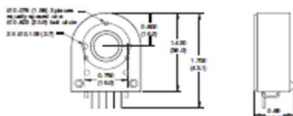
M-2231-6.0

Torque in Oz - In (N·cm)



Optical Encoder Option

Dimensions in inches (mm)



Connectivity

single-end encoder



- pin function
- 1 Brown Ground
 - 2 Violet Index
 - 3 Blue Channel A
 - 4 Orange +5 VDC Input
 - 5 Yellow Channel B
- optional interface cable available: EO-CABLE-2

differential encoder



- pin function
- 1 no connect
 - 2 +5 VDC Input
 - 3 Ground
 - 4 no connect
 - 5 Index +
 - 6 Channel A+
 - 7 Channel B+
 - 8 Channel A-
 - 9 Index -
 - 10 Channel B-
- interface cable included

Timing

single-end encoder

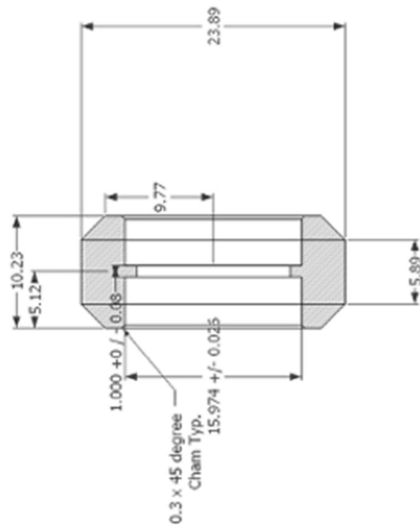
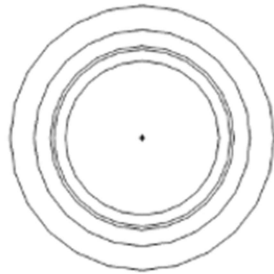


differential encoder



Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Units
Cycle error		2		6.5	%
Symmetry		130	130	250	%
Quadrature		40	90	140	%
Index pulse width	Pw	60	90	120	ns
Index rise (after Ch A or B fall)	tr	200	130	260	ns
Index fall (after Ch A or B rise)	tf	70	100	1000	ns

C One cycle 360 electrical degrees (%)
 XY Symmetry: the measure of the relationship between X and Y, normally 100%
 Z Quadrature: the phase lead or lag between channels A and B, normally 90%
 Pw Index pulse width, normally 90%
 tr Index rise (after Ch A or B fall)
 tf Index fall (after Ch A or B rise)
 NOTE: Rotation is as viewed from the cover side of the encoder.



These wheels are identical to the Dual V Wheels, with the only difference being the center V is removed to create a single V solid wheel.



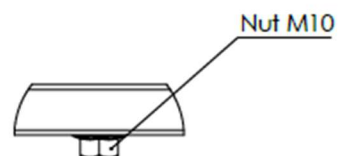
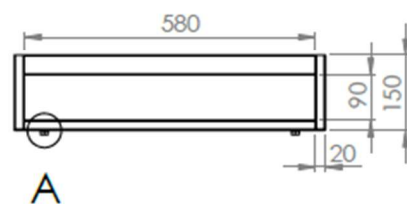
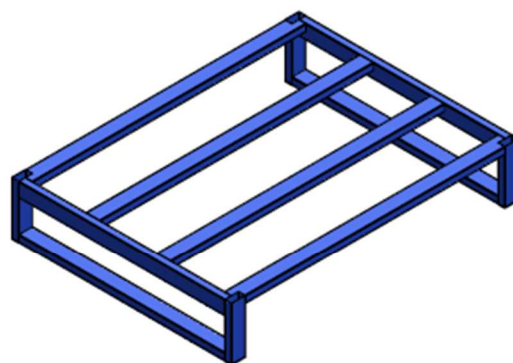
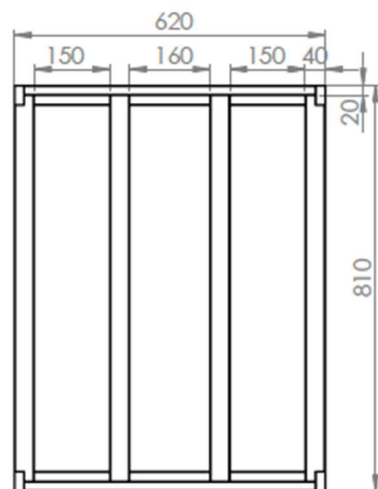
Material: Delrin / Acetal Black

Solid V Wheel


Mark Carew - Support@OpenBuilds.com

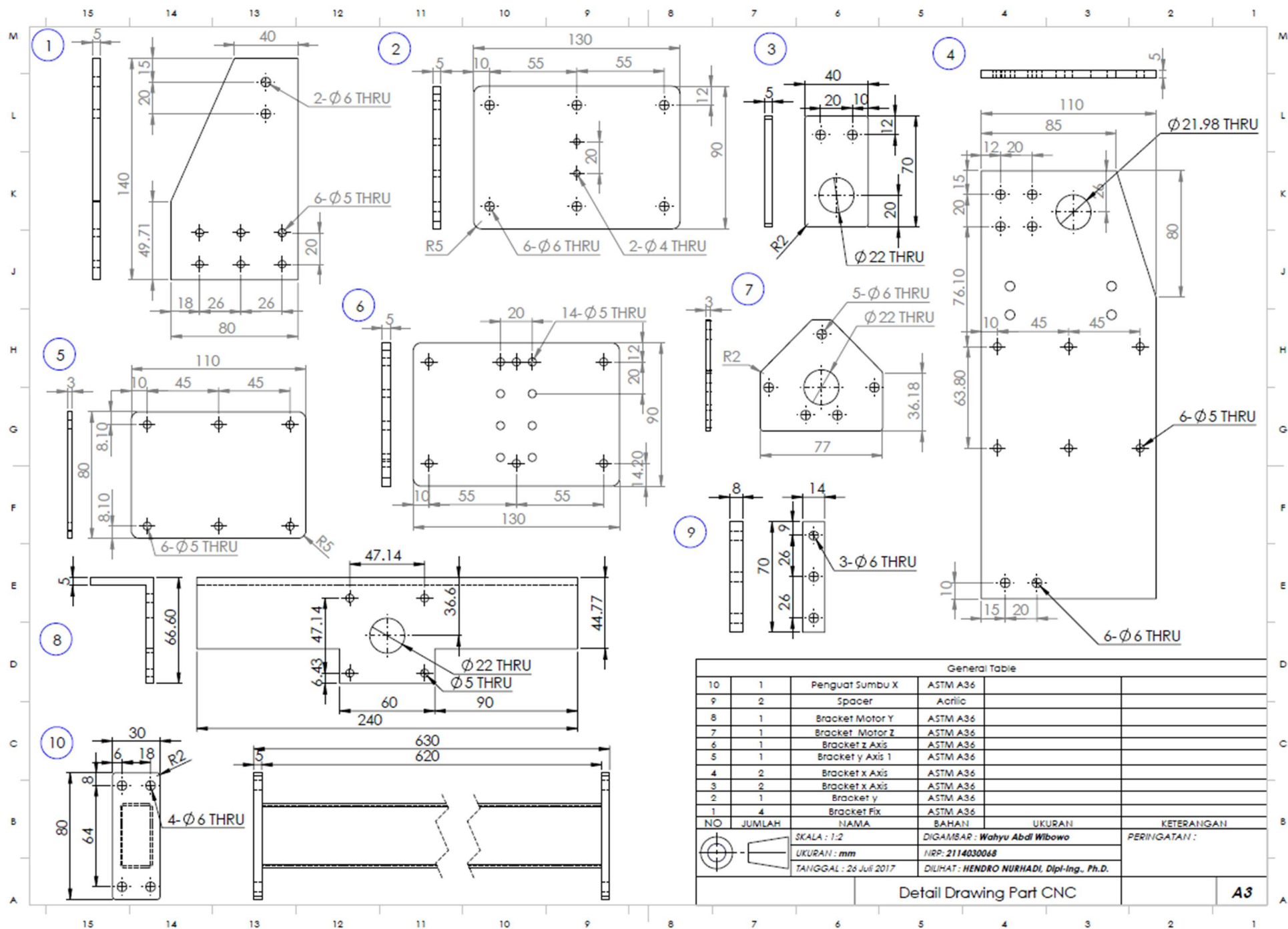


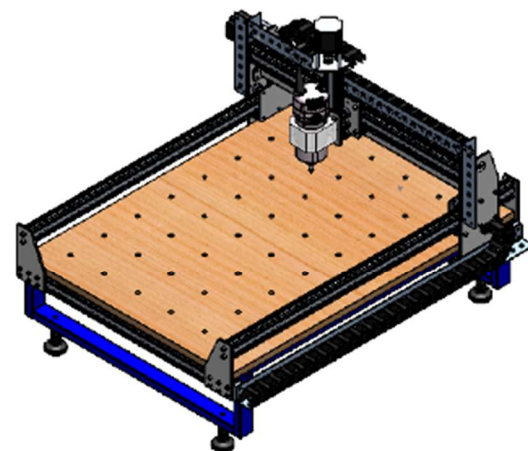
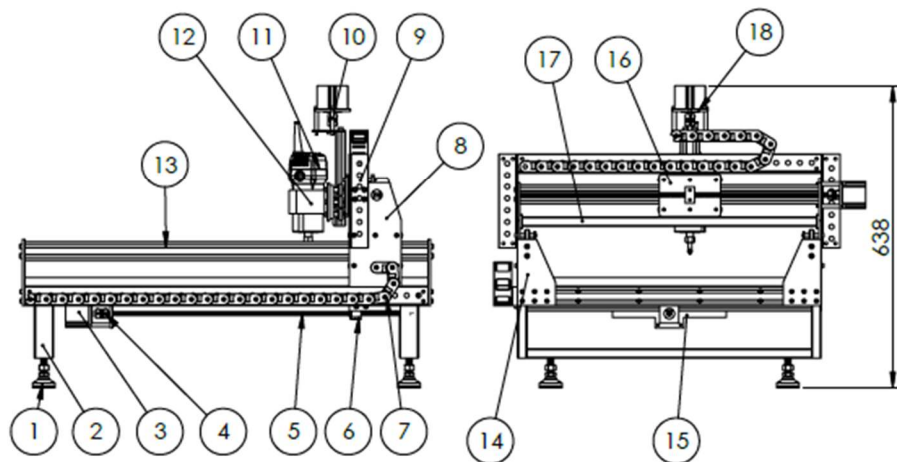
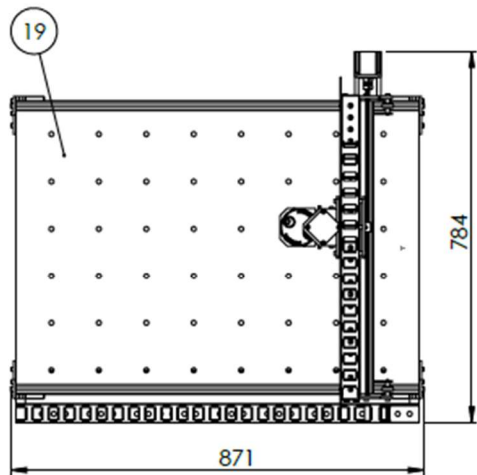
OPENBUILDS



DETAIL A 1:2

	SKALA : 1:2	DIGAMBAR : WAHYU ABDI WIBOWO	PERINGATAN :	
	UKURAN : mm	NRP : 2114030068		
	TANGGAL : 5 Juni 2017	DILIHAT: HENDRO NURHADI, Dipl-Ing		
D3 T. MESIN ITS			Kerangka	
			NO. 1	A3





19	1	Table	Kayu		
18	1	Plat Motor	A36		
17	1	Penguat	A36		
16	2	Plat Z	A36		
15	1	Bracket Stepper	A36		
14	4	Plat X	A36		
13	7	Al Profile	Al 6360		
12	1	Bracket Spindle	Akriik		
11	1	Spindle	-		
10	10	Spacer	Al 6360		
9	4	Braket Cable	A36		
8	2	Plat Y	A36		
7	2	Cable Chain	PE		
6	3	Nut Lead	Cooper		
5	3	Leadscrew	SS		
4	3	Coupling	Al		
3	3	Motor Stepper	-		
2	1	Kerangka	ST32		
1	4	Kaki Meja	Rubber		

NO	Jumlah	Nama	Bahan	Ukuran	Keterangan
		SKALA :	DIGAMBAR : Wahyu Abd Wibowo		
		UKURAN : mm	NRP: 2114030048		
		TANGGAL : 30 Juli 2017	DIUJAHAT : HENDRO NURHADI, Dipl-Ing., Ph.D.		

D3 T. MESIN ITS Woodworking CNC Machine

A3

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Wahyu Abdi Wibowo, lahir di Grobogan pada tanggal 30 Oktober 1995 dari pasangan Bapak Damin dan Ibu Darsini. Dia merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis bertempat tinggal di dusun Corot, desa Simo, Kecamatan Kradenan, Kabupaten Grobogan, Provinsi Jawa Tengah. Perjalanan pendidikannya dimulai dari TK Dharmawanita tahun 2000-2001, SDN 3 Simo tahun 2001-2006, SMPN 2 Kradenan tahun 2007-2010, lalu melanjutkan ke SMAN 1 Kradenan

pada tahun 2011-2013 jurusan IPA. Setelah lulus pada tahun 2013, dia sempat berhenti sekolah dan memutuskan kerja. Tak putus semangat tahun 2014 dia mengikuti ujian masuk Diploma 3 ITS dan diterima di program studi Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi ITS dengan mengambil bidang studi Manufaktur.

Motto hidup **“lakukanlah semaksimal mungkin demi hasil yang akan diperoleh”**. Selama kuliah penulis pernah kerja praktek di PT. Swadaya Graha dan mempelajari keahlian praktek Las pada tahun 2016. Penulis pernah menjadi grader/asisten laboratorium Manufaktur, dan laboratorium Mekatronika tahun 2016 yang memegang lab Otomasi. Penulis aktif dalam kegiatan non akademik berupa pelatihan dan seminar baik didalam kegiatan didalam maupun diluar jurusan. Seperti mengikuti pelatihan LKMM Pra-TD, LKMM TD, PKTI, PMB Seminar andropreneurship dan seminar lainnya. Penulis berharap tugas akhir ini bermanfaat.

Email : wahyuabdia4@gmail.com

No. Hp : 085641138992